



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA BIOQUÍMICA Y FARMACIA**

**SÍNTESIS, CARACTERIZACIÓN Y APLICACIÓN DE  
DIFERENTES COMBINACIONES DE NANOPARTÍCULAS EN UN  
PROTOTIPO MODELO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS DE  
RÍO**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para optar al grado académico de:

**BIOQUÍMICA FARMACÉUTICA**

**AUTORA:** FERNANDA KATHERINE SÁNCHEZ MARTÍNEZ

**DIRECTOR:** BQ. CL. MISHHELL CAROLINA MORENO SAMANIEGO, MSc.

Riobamba – Ecuador

2024

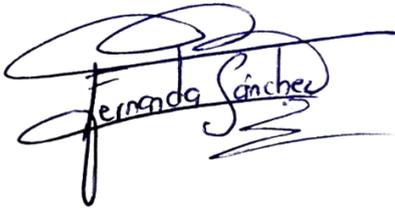
**©2024, Fernanda Katherine Sánchez Martínez**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Fernanda Katherine Sánchez Martínez declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

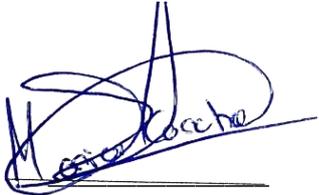
Riobamba, 27 de Mayo de 2024

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Fernanda Sánchez', with stylized loops and flourishes.

**Fernanda Katherine Sánchez Martínez**  
**060396918-9**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA BIOQUÍMICA Y FARMACIA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Trabajo Experimental, **SÍNTESIS, CARACTERIZACIÓN Y APLICACIÓN DE DIFERENTES COMBINACIONES DE NANOPARTÍCULAS EN UN PROTOTIPO MODELO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS DE RÍO**, realizado por la señorita: **FERNANDA KATHERINE SÁNCHEZ MARTÍNEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
BQF. Mónica Jimena Concha Guaila, Msc. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2024-05-27
BQ. Cl. Mishell Carolina Moreno Samaniego, MSc. <b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2024-05-27
Ing. Hugo Javier Sánchez Moreno, MSc. <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2024-05-27

## DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico con cariño a Dios, por haberme guiado y acompañado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en momentos de debilidad y dotarme de sabiduría para finalizar con éxito mi meta anhelada. A mi hermano: Juan Carlos, mi talismán, mi fuerza y mi guía, a mi ángel de la guarda mi fuente de inspiración y sabiduría al que siempre estado conmigo en los momentos donde más lo he necesitado, aunque no con su presencia física, pero si espiritualmente, gracias por ser mi luz en los días de obscuridad, tu amor y enseñanzas seguirán conmigo, sé que desde el cielo me seguirás guiando, un beso al cielo, te amo por la eternidad. ¡Lo logramos ñaño, promesa cumplida! A mis queridos padres: Juan Sánchez y Luz Martínez quienes, con sacrificio, dedicación y amor, han sembrado en mi buenos principios, hábitos y valores, gracias por cada palabra de aliento, por siempre apoyarme en cada paso que he dado, sin su apoyo nada de esto hubiera sido posible, gracias por ser mi fuerza, gracias por no dejar de creer en mí, gracias por todo lo que han hecho por mí, este logro es de ustedes papitos. Los amo.

A mi hermana: Maribel, la persona que desde pequeña me enseñó a luchar por lo que quiero, a no darme por vencida, a siempre soñar por que los sueños si se cumplen, gracias por ser esa amiga fiel y sincera, por tus consejos, por tu apoyo incondicional, por nunca dejarme sola y creer en mí, gracias por haber sido mi guía y mi ejemplo a seguir. A mis amados Sobrinos: Marcelita, Daniel y Emilia, gracias por a ver venido dar luz a mi vida, por ser la fuerza para no darme por vencida, gracias por llenar mi mundo de amor y dulzura, han sido la inspiración detrás de cada meta alcanzada en mi vida, mi cielo, mi sol y mi luna los amo con todo mi corazón. A mi cuñado: Marcelo, gracias por tus consejos, tus palabras de apoyo, tu cariño incondicional, por cuidarme como una hermana, gracias por ser ese hermano que la vida me quito, pero Dios me lo devolvió contigo, este triunfo también es tuyo, gracias por creer en mí. A los que siempre creyeron en mi: mis abuelitos, tíos, primos, gracias por sus consejos, apoyo y amor incondicional en cada paso que he dado.

Fernanda.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios y a la virgen Dolorosa, por guiar cada uno de los pasos que he dado durante toda mi carrera universitaria y por todas las bendiciones recibidas, a mis queridos y amados padres por ser mi fuerza y mi guía en momentos de debilidad, por brindarme valores de honestidad, perseverancia, resiliencia y esfuerzo en cumplir cada uno de mis sueños. A mi ángel de la guarda que ha guiado mi vida, y me acompañado siempre durante toda mi vida. A mi hermana que ha sido mi apoyo incondicional siempre y me ha forjado valores de responsabilidad, y esfuerzo en cada cosa que logre durante mi vida. A mis sobrinos por ser esa luz y motivación en cada logro que, alcanzado en mi vida, A mi cuñado por ser mi hermano y apoyo incondicional en todo momento. A toda mi familia por ayudarme alcanzar esta meta anhelada con cada una de sus palabras de apoyo cuando lo necesitaba. Agradezco profundamente a todos los docentes de la carrera de Bioquímica y Farmacia de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por su vocación para compartir sus conocimientos y formarme como una profesional ética y humada, de manera especial expreso mis sinceros agradecimientos, a mi querida tutora Bq.Cl Mishell Moreno, que ha sido un pilar fundamental para culminar con éxito este trabajo, gracias a sus conocimientos, palabras de apoyo y guía constante. A mi asesor Ing. Hugo Sanchez, el cual con sus conocimientos, motivación y ayuda, facilitó la culminación exitosa de este trabajo. Así también quiero agradecer a mis amigos, especialmente a Dianita Lictapuzon, por su ayuda, sus consejos y apoyo en todo momento.

Fernanda.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiii
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN .....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. <i>Objetivo general</i> .....	4
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	5

### CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes.....	6
2.2. Referencias teóricas .....	7
2.2.1. <i>Agua</i> .....	7
2.2.1.1. <i>Agua de río</i> .....	8
2.2.1.2. <i>Contaminación del agua</i> .....	8
2.2.2. <i>Microbiología</i> .....	8
2.2.2.1. <i>Bacterias</i> .....	9
2.2.2.2. <i>Medios de cultivo</i> .....	11
2.2.3. <i>Nanotecnología</i> .....	11
2.2.3.1. <i>Top down.</i> .....	11
2.2.3.2. <i>Bottom up.</i> .....	11
2.2.4. <i>Nanopartículas</i> .....	11
2.2.4.1. <i>Síntesis de nanopartículas</i> .....	12
2.2.4.2. <i>Nanopartículas de plata</i> .....	12
2.2.4.3. <i>Nanopartículas de hierro</i> .....	13

2.2.4.4.	<i>Nanopartículas de óxido de cobre</i> .....	14
2.2.4.5.	<i>Nanopartículas de óxido de bismuto</i> .....	15
2.2.5.	<i>Síntesis verde</i> .....	16
2.2.6.	<b>Caracterización de nanopartículas</b> .....	16
2.2.6.1.	<i>Espectroscopía infrarroja</i> .....	17
2.2.6.2.	<i>Microscopía electrónica de barrido</i> .....	17
2.2.6.3.	<i>Espectroscopía ultravioleta visible</i> .....	17
2.2.7.	<i>Menta (Mentha arvensis)</i> .....	17
2.2.8.	<i>Eucalipto (Eucalyptus globulus)</i> .....	18
2.2.9.	<i>Matico (Piper aduncum)</i> .....	18
2.2.10.	<i>Uvilla (Physalis peruviana L)</i> .....	18

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	19
3.1.	<b>Enfoque, diseño y alcance</b> .....	19
3.2.	<b>Población de estudio y/o tamaño de muestra</b> .....	19
3.2.1.	<i>Muestra</i> .....	19
3.3.	<b>Criterios de inclusión</b> .....	19
3.4.	<b>Criterios de exclusión</b> .....	19
3.5.	<b>Hipótesis</b> .....	19
3.5.1.	<i>Identificación de variables</i> .....	20
3.6.	<b>Parte experimental</b> .....	20
3.6.1.	<i>Equipos y materiales</i> .....	20
3.6.2.	<i>Extracción del extracto acuoso de las especies vegetales</i> .....	20
3.6.3.	<i>Síntesis de nanopartículas</i> .....	21
3.6.3.1.	<i>Preparación de la solución de la sal precursora de nanopartícula de CuO</i> .....	22
3.6.3.2.	<i>Síntesis verde de nanopartículas</i> .....	22
3.6.4.	<b>Caracterización de nanopartículas</b> .....	22
3.6.4.1.	<i>Espectroscopía ultravioleta visible (UV-Vis)</i> .....	22
3.6.4.2.	<i>Espectroscopía de infrarrojo IR</i> .....	23
3.6.4.3.	<i>Microscopía electrónica de barrido</i> .....	23
3.6.5.	<i>Evaluación de la actividad bactericida de las nanopartículas</i> .....	24

### CAPÍTULO IV

4.	<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	25
----	---	----

<b>4.1.</b>	<b>Síntesis verde de nanopartículas empleando extractos acuosos .....</b>	<b>25</b>
4.1.1.	<i>Obtención del extracto acuoso .....</i>	25
4.1.2.	<i>Tamizaje fitoquímico de extractos de hojas de menta, mático y uvilla .....</i>	25
4.1.3.	<i>Síntesis verde nanopartículas de plata, hierro, óxido de cobre y oxido de bismuto .</i>	28
4.1.3.1.	<i>Síntesis verde de nanopartículas de plata .....</i>	28
4.1.3.2.	<i>Síntesis verde de nanopartículas de hierro .....</i>	29
4.1.3.3.	<i>Síntesis verde de nanopartículas de óxido de cobre .....</i>	30
4.1.3.4.	<i>Síntesis verde de nanopartículas de óxido de bismuto .....</i>	31
<b>4.2.</b>	<b>Caracterización de nanopartículas mediante técnicas de UV-VIS, IR y SEM....</b>	<b>32</b>
4.2.1.	<i>Nanopartículas de plata .....</i>	32
4.2.1.1.	<i>Espectroscopía UV-VIS .....</i>	32
4.2.1.2.	<i>Espectroscopía infrarrojo (IR).....</i>	33
4.2.1.3.	<i>Microscopía electrónica de barrido.....</i>	33
4.2.2.	<i>Nanopartículas de hierro .....</i>	34
4.2.2.1.	<i>Espectroscopía UV-VIS .....</i>	34
4.2.2.2.	<i>Espectroscopía infrarrojo (IR).....</i>	35
4.2.2.3.	<i>Microscopía electrónica de barrido.....</i>	36
4.2.3.	<i>Nanopartículas de óxido de cobre.....</i>	36
4.2.3.1.	<i>Espectroscopía UV-VIS .....</i>	36
4.2.3.2.	<i>Espectroscopía infrarrojo (FT-IR).....</i>	37
4.2.3.3.	<i>Microscopía electrónica de barrido.....</i>	38
4.2.4.	<i>Nanopartículas de óxido de bismuto.....</i>	39
4.2.4.1.	<i>Espectroscopía UV-VIS .....</i>	39
4.2.4.2.	<i>Espectroscopía infrarrojo (FT-IR).....</i>	39
4.2.4.3.	<i>Microscopía electrónica de barrido.....</i>	40
<b>4.3.</b>	<b>Aplicación de nanopartículas en rototipo modelo para el tratamiento de aguas.....</b>	<b>41</b>
4.3.1.	<i>Construcción del prototipo.....</i>	42
4.3.2.	<i>Recolección de muestras de agua .....</i>	42
4.3.3.	<i>Preparación de los cartuchos del prototipo .....</i>	43
4.3.4.	<i>Toma de muestras después del tratamiento .....</i>	44
4.3.5.	<i>Análisis de muestras de agua tratadas antes y después del tratamiento .....</i>	45
4.3.5.1.	<i>Análisis de mezcla de diferentes combinaciones de nanopartículas en el prototipo ..</i>	48
4.3.6.	<i>Análisis microbiológico de las muestras de agua tratadas en el prototipo.....</i>	55
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>58</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>58</b>

**BIBLIOGRAFÍA**  
**ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b> Clasificación de nanopartículas según la dimensión .....	12
<b>Tabla 3-1:</b> Equipos y materiales usados en el estudio .....	20
<b>Tabla 4-1:</b> Tamizaje fitoquímico del extracto etéreo de las especies vegetales .....	26
<b>Tabla 4-2:</b> Tamizaje fitoquímico del extracto hidroalcohólico de las especies vegetales .....	26
<b>Tabla 4-3:</b> Tamizaje fitoquímico del extracto acuoso de las especies vegetales .....	27
<b>Tabla 4-4:</b> Rendimiento de AgNPs .....	29
<b>Tabla 4-5:</b> Rendimiento de FeNPs .....	29
<b>Tabla 4-6:</b> Rendimiento de CuONPs.....	30
<b>Tabla 4-7:</b> Rendimiento de Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> NPs.....	31
<b>Tabla 4-8:</b> Concentración de nanopartículas de óxido de cobre .....	44
<b>Tabla 4-9:</b> Concentración de nanopartículas de plata .....	44
<b>Tabla 4-10:</b> Concentración de nanopartículas de hierro .....	44
<b>Tabla 4-11:</b> Concentración de nanopartículas de óxido de bismuto .....	44
<b>Tabla 4-12:</b> Resultados del primer filtro con carbón activado .....	45
<b>Tabla 4-13:</b> Resultados con la segunda concentración de nanopartículas.....	46
<b>Tabla 4-14:</b> Resultados con la tercera concentración de nanopartículas.....	46
<b>Tabla 4-15:</b> Concentraciones de las nanopartículas.....	47
<b>Tabla 4-16:</b> Combinación de nanopartículas de hierro y óxido de bismuto.....	48
<b>Tabla 4-17:</b> Concentraciones de las nanopartículas.....	49
<b>Tabla 4-18:</b> Combinación de nanopartículas de óxido de cobre y plata .....	49
<b>Tabla 4-19:</b> Concentraciones de las nanopartículas.....	50
<b>Tabla 4-20:</b> Combinación de nanopartículas de óxido de cobre y óxido de bismuto.....	50
<b>Tabla 4-21:</b> Concentraciones de las nanopartículas.....	51
<b>Tabla 4-22:</b> Combinación de nanopartículas de hierro y plata .....	51
<b>Tabla 4-23:</b> Concentraciones de las nanopartículas.....	52
<b>Tabla 4-24:</b> Combinación de nanopartículas de óxido de cobre, óxido de bismuto y hierro .....	52
<b>Tabla 4-25:</b> Concentraciones de las nanopartículas.....	53
<b>Tabla 4-26:</b> Combinación de nanopartículas de plata, hierro y óxido de bismuto .....	53
<b>Tabla 4-24:</b> Concentraciones de las nanopartículas.....	54
<b>Tabla 4-28:</b> Combinación nanopartículas de óxido de cobre, plata, hierro, óxido de bismuto...55	
<b>Tabla 4-29:</b> Análisis microbiológico de coliformes en agua sin tratamiento .....	56
<b>Tabla 4-30:</b> Análisis de coliformes en agua tratada con nanopartículas .....	56

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b> Distribución del agua en el mundo .....	8
<b>Ilustración 2-2:</b> Proceso de formación de nanopartículas de plata-síntesis verde.....	16
<b>Ilustración 3-1:</b> Obtención del extracto acuoso de las especies vegetales .....	20
<b>Ilustración 3-2:</b> Proceso de la síntesis verde de nanopartículas de plata .....	22
<b>Ilustración 3-3:</b> Preparación del medio de cultivo (Agar nutritivo) .....	24
<b>Ilustración 4-1:</b> Obtención de extractos de la menta, eucalipto, matico y uvilla .....	25
<b>Ilustración 4-2:</b> Síntesis de nanopartículas de plata con extracto de uvilla .....	28
<b>Ilustración 4-3:</b> Síntesis de nanopartículas de hierro con extracto de matico .....	29
<b>Ilustración 4-4:</b> Síntesis de nanopartículas de óxido de cobre con extracto de eucalipto .....	30
<b>Ilustración 4-5:</b> Síntesis de nanopartículas de óxido de bismuto .....	31
<b>Ilustración 4-6:</b> Banda UV-VIS de nanopartículas de plata .....	32
<b>Ilustración 4-7:</b> Espectroscopía infrarrojo de nanopartículas de Ag .....	33
<b>Ilustración 4-8:</b> SEM de nanopartículas de Ag a 121X y 5000X. ....	34
<b>Ilustración 4-9:</b> Banda UV-VIS de nanopartículas de hierro .....	34
<b>Ilustración 4-10:</b> Espectroscopía infrarrojo de nanopartículas de Fe .....	35
<b>Ilustración 4-11:</b> SEM de nanopartículas de Fe. ....	36
<b>Ilustración 4-12:</b> Banda UV-VIS de nanopartículas de óxido de cobre .....	37
<b>Ilustración 4-13:</b> Espectroscopía infrarrojo de nanopartículas de CuO.....	37
<b>Ilustración 4-14:</b> SEM de nanopartículas de óxido de cobre.....	38
<b>Ilustración 4-15:</b> Banda UV-VIS de nanopartículas de óxido de bismuto .....	39
<b>Ilustración 4-16:</b> Espectroscopía infrarrojo de nanopartículas de Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	40
<b>Ilustración 4-17:</b> SEM de nanopartículas de Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	41
<b>Ilustración 4-18:</b> Construcción del prototipo de pruebas .....	42
<b>Ilustración 4-19:</b> Recolección de muestras de agua del río Chibunga.....	43
<b>Ilustración 4-20:</b> Colocación de carbón activado y nanopartículas .....	43
<b>Ilustración 4-21:</b> Toma de muestras de agua tratada.....	45
<b>Ilustración 4-22:</b> Análisis microbiológico de muestras de agua.....	55

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** OBTENCIÓN DE EXTRACTOS ACUOSOS

**ANEXO B:** ANÁLISIS TAMIZAJE FITOQUÍMICO

**ANEXO C:** RECOLECCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS DEL PROTOTIPO

**ANEXO D:** ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA

**ANEXO E:** ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA

## RESUMEN

El agua, un recurso esencial para la vida, afronta una crisis global de calidad debido a la contaminación, por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue la síntesis, caracterización y aplicación de diferentes combinaciones de nanopartículas en un prototipo modelo para el tratamiento de aguas de río, mediante un análisis experimental, con un enfoque cuantitativo y corte transversal. La población de estudio fueron especies vegetales de menta (*Mentha arvensis*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*), matico (*Piper aduncum*) y uvilla (*Physalis peruviana* L), procediendo para la investigación en tres fases: síntesis verde de nanopartículas de AgNPs, CuONPs, FeNPs y Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>NPs empleando extractos acuosos, caracterización de nanopartículas por espectroscopía UV-VIS, FT-IR, SEM y su aplicación en un prototipo modelo para el tratamiento de agua. Como resultados en la síntesis de nanopartículas se obtuvo un rendimiento de 0,678 g en AgNPs, 0,165 g en FeNPs, 0,267 g en CuONPs y 0,22 g en Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>NPs. Al caracterizar las nanopartículas por espectroscopía UV-VIS se observó un pico definido de 414,75 nm en AgNPs, 196 nm en FeNPs, 327 nm en CuONPs y 205nm en Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>NPs; en la espectroscopía FT-IR se evidenciaron diferentes picos de absorción, principalmente en enlaces de estiramiento O-H, C-H, C=C y en SEM se evidenció un tamaño promedio de 40 nm en AgNPs, 90 nm en FeNPs, 35 nm en CuONPs y 7-93 nm en Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>NPs. Al aplicar las nanopartículas en el prototipo modelo, las Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>NPs (0,05 mol/L), cumplieron en mayor medida con los requerimientos fisicoquímicos de calidad del agua y en el análisis microbiológico, la primera concentración de nanopartículas tuvo mayor efecto al inhibir coliformes totales. Se concluyó que, las nanopartículas tuvieron un efecto bactericida para el tratamiento de las muestras de agua.

**Palabras clave:** <NANOPARTICULAS>, <SINTESIS VERDE>, <AGENTE BACTERICIDA>, <CALIDAD DE AGUA>. < SISTEMA DE TRATAMIENTO >.

0670-DBRA-UPT-2024



## ABSTRACT

The main objective of the present research study was to focus on the synthesis, characterization and application of different combinations of nanoparticles in a model prototype for the treatment of river water, through an experimental analysis, with a quantitative and cross-sectional approach. Water, an essential resource for life, faces a global quality crisis due to pollution. Therefore, the study population were plant species of mint (*Mentha arvensis*), eucalyptus (*Eucalyptus globulus*), matico (*Piper aduncum*) and uvilla (*Physalis peruviana L*), proceeding for the research in three phases: green synthesis of AgNPs, CuONPs, FeNPs and Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>NPs nanoparticles using aqueous extracts, characterization of nanoparticles by UV-VIS, FT-IR, SEM spectroscopy and their application in a model prototype for water treatment. As results in the synthesis of nanoparticles, a yield of 0.678 g in AgNPs, 0.165 g in FeNPs, 0.267 g in CuONPs and 0.22 g in Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>NPs was obtained. When characterizing the nanoparticles by UV-VIS spectroscopy, a distinct peak of 414.75 nm in AgNPs, 196 nm in FeNPs, 327 nm in CuONPs and 205nm in Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>NPs was observed; in FT-IR spectroscopy different absorption peaks were evidenced, mainly in O-H, C-H, C=C stretching bonds and in SEM an average size of 40 nm was evidenced in AgNPs, 90 nm in FeNPs, 35 nm in CuONPs and 7-93 nm in Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>NPs. When applying the nanoparticles in the model prototype, the Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>NPs (0.05 mol/L) met the physicochemical requirements for water quality to a greater extent, and in the microbiological analysis, the first concentration of nanoparticles had a greater effect in inhibiting total coliforms. It was concluded that, nanoparticles had a bactericidal effect for the treatment of water samples.

**Keywords:** <NANOPARTICLES>, <GREEN SYNTHESIS>, <BACTERICIDE AGENT>, <WATER QUALITY>, <TREATMENT SYSTEM>.



---

Mgs. Evelyn Carolina Macias Silva

C.I 0603239070

## INTRODUCCIÓN

El agua es considerada como un elemento indispensable para la vida de los seres vivos y a pesar que la mayor parte de la Tierra se encuentra cubierta de agua (70%), sólo una pequeña parte corresponde al agua dulce, que puede ser consumida por el hombre. Por esto, es considerada como la fuente de la vida, reguladora de las condiciones climáticas y modeladora del planeta (Molina 2020, p. 5).

En el caso del agua de los ríos, constituyen un sistema de circulación y traslado de sedimentos y fluidos mediante las cuencas hidrográficas y sus desembocaduras, a través de diversas reacciones mecánicas, dinámicas y energéticas, con el fin de brindar sustento a la vida, por lo que es indispensable reducir el grado de contaminación de este recurso (Campoblanco 2020, p. 2).

La crisis global del agua no radica necesariamente en la escasez, sino en su grado de calidad, ya que en los últimos años se ha visto afectada en gran medida por la contaminación de los ríos, mares, lagos y acuíferos. En este sentido, los contaminantes químicos, orgánicos y biológicos, procedentes de diversas actividades a nivel industrial, minero, agrario, ganadero, entre otros, han ocasionado una crisis de biodiversidad, siendo necesaria la aplicación de técnicas de tratamiento de agua, para asegurar su calidad y seguridad (Arrojo 2021, p. 3).

Dentro de las alternativas para la remediación ambiental se encuentran las nanopartículas, que son estructuras pequeñas con un tamaño que oscila entre 1-100 nm y se han convertido en una solución potencial de tratamiento de agua, mediante la aplicación de técnicas como la filtración, floculación, adsorción y coagulación. Sin embargo, es esencial considerar las limitantes que tiene esta tecnología, porque aún no se conoce en su totalidad el efecto que tiene en los seres humanos, fauna y flora (Chávez 2020, p. 53).

El presente trabajo de investigación propone la síntesis, caracterización y aplicación de diferentes combinaciones de nanopartículas (plata, hierro, óxido de cobre y óxido de bismuto), en un prototipo modelo para el tratamiento de aguas de río, para lo cual, se utilizan extractos de las hojas de menta (*Mentha arvensis*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*), matico (*Piper aduncum*) y uvilla (*Physalis peruviana* L) como agentes reductores para la síntesis de las nanopartículas. Además, estas especies vegetales se caracterizan por presentar propiedades antimicrobianas que están relacionadas con la presencia de metabolitos secundarios como fenoles y terpenos (Montero et al. 2019, p. 932).

## CAPÍTULO I

### 1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Planteamiento del problema

La contaminación del agua es un problema a nivel mundial, que afecta a diversos sectores de la población tanto de países desarrollados como en vías de desarrollo. La contaminación surge por cualquier cambio físico, químico o biológico en la calidad del agua, causando un efecto negativo en las especies que se desarrollan en un medio acuático y en quienes consumen este recurso hídrico, ya que puede causar diversos problemas de salud como disentería, fiebre tifoidea, hepatitis, etc., (Guadarrama et al. 2019, p. 6).

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el año 2022 se reportó que, a nivel mundial alrededor de 1700 millones de personas tomaban agua contaminada, con mayor riesgo de toxicidad, donde los principales agentes contaminantes eran el arsénico, fluoruros, nitratos, plaguicidas, fármacos y microplásticos (OMS 2023, p. 2).

Los contaminantes del agua son de diversa naturaleza y comportamiento, dividiéndose en tres categorías: contaminantes químicos (orgánicos e inorgánicos), contaminantes biológicos (organismos patógenos) y contaminantes físicos (mecánica, radiactiva, térmica). Además, en diversos estudios se ha determinado que, los principales contaminantes que se encuentran a nivel de los ríos son: los microorganismos patógenos, desechos orgánicos, sustancias químicas orgánicas (sales, ácidos, metales tóxicos), nutrientes vegetales inorgánicos (nitritos, nitratos), compuestos orgánicos (gasolina, petróleo, plásticos, plaguicidas, etc.), medicamentos y sustancias radioactivas (Armijo y Basegio 2019, p. 2).

A nivel nacional, el 70,1% de la población tiene acceso a agua segura, mientras que, el 20,7% del agua está contaminado con heces fecales, donde más del 50% pertenece a la red pública, siendo necesario tomar medidas de saneamiento e higiene a nivel urbano y rural (Zambrano et al. 2023, p. 215).

En el caso de Riobamba, es una de las ciudades donde más agua contaminan debido a que, se vierten alrededor de 350 litros/segundo de aguas contaminadas a los ríos, de los cuales, el 80% presentan coliformes fecales y metales pesados, la misma que es usada en gran medida por la población para actividades agrícolas. Además, las escasas acciones por parte del municipio para la desinfección de este recurso hídrico y los ineficaces tratamientos de agua, han ocasionado que

el índice de contaminación vaya en aumento (Puente 2019, p. 2).

Es importante resaltar que, los contaminantes tienen un alto impacto cuando son liberados en el medio ambiente sin recibir un tratamiento previo, porque ocasionan contaminación atmosférica, del agua y del suelo, al alterar sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Actualmente, existen diversos tratamientos de agua como la precloración, clarificación por coagulación, adsorción, oxidación, filtración, métodos biológicos (intercambiador de iones, carbón activado, productos alcalinos) etc. los cuales, no han sido altamente eficaces para la desinfección del agua (Borja et al. 2020, p. 341).

Con el fin de desarrollar nuevas alternativas para el tratamiento y desinfección del agua, se ha optado por la síntesis y uso de materiales a escala nanométrica, que es un proceso donde se requiere de mayor consumo de reactivos químicos, sin embargo, con la biosíntesis de nanopartículas, se ha reducido en gran medida el impacto ambiental, debido a que, es una alternativa basada en la reducción de metales a través de especies naturales con poder antioxidante (Chávez 2019, p. 52).

## **1.2. Justificación**

El agua es un recurso esencial para la vida, pero pese a que el 70% del planeta está cubierto de agua, únicamente el 1% se destina al consumo humano, sin embargo, presenta un alto grado de escasez y contaminación, afectando el desarrollo y la vida de los organismos vivos (Guadarrama et al. 2019).

Por el grado de contaminación, ha sido necesario contar con servicios de agua potable y saneamiento básico que sean seguros y de calidad, debido a que, el tratamiento del agua está estrechamente relacionado con una mayor productividad en el sector urbano y rural. Por otro lado, la gestión del agua permite tener energía asequible y una notable reducción de residuos y contaminantes (CEPAL 2023, p. 8).

Tradicionalmente, se han usado diversas metodologías para el tratamiento del agua (coagulación, sedimentación, floculación, filtración, oxidación, adsorción etc.), pero en ocasiones han sido insuficientes para remover los contaminantes orgánicos. Debido a esto, han surgido alternativas con tecnologías amigables al medio ambiente que permitan realizar los procesos de oxidación, transformación, degradación y completa mineralización de los contaminantes, destacando el uso de las nanopartículas por su elevado rendimiento y síntesis con bajo consumo energético y monetario (Gelover 2020, p. 40).

La nanotecnología es la ciencia que tiene un origen multidisciplinar, donde sus elementos básicos son los átomos, moléculas y nanoestructuras. Además, tiene aplicación en diversas disciplinas tradicionales como la química, física, biología, ingeniería, medicina, electrónica, entre otros (Nagao 2023, p. 2).

La reducción del tamaño de partícula presenta dos beneficios: la alta densidad superficial de los sitios activos para la adsorción de sustratos, aumenta la velocidad de la fotorreacción y además, la energía de brecha al depender de efectos cuánticos, permite el diseño de nanopartículas con energías de brecha seleccionadas y propiedades redox específicas. A nivel general, el catalizador más usado en el tratamiento de agua, es el dióxido de titanio, que se activa con energía UV, generando varias especies altamente reactivas con poder oxidante, que permite transformar moléculas difíciles de oxidar, pudiendo reutilizar una y otra vez, al ser inocuo con el medio ambiente y con los microorganismos que viven naturalmente en el agua (Matos 2019, p. 37).

Además, para la síntesis de nanopartículas se ha usado materiales de origen natural (plantas o extractos) en lugar de reductores químicos, con el fin de desarrollar alternativas más amigables con el ambiente. Los extractos vegetales se caracterizan por tener en sus estructuras diversos compuestos como taninos, fenoles, terpenos, etc. los cuales, pueden actuar como reductores para la síntesis las nanopartículas metálicas y otra ventaja es su bajo costo debido a que, estos materiales son un recurso renovable (Neira 2020, p. 9).

Por todo lo expuesto, se ha visto la necesidad de realizar la síntesis verde y la caracterización de nanopartículas para su aplicación en un dispositivo prototipo para el tratamiento de agua del río Chibunga, al aplicar nanopartículas de plata, óxido de cobre, hierro y óxido de bismuto como tratamiento bactericida, gracias a los procesos fotoquímicos y fotocatalíticos. Con este estudio se propondrá una alternativa de biorremediación para dar solución a la problemática de contaminación del agua, que es un problema latente a nivel de la provincia de Chimborazo.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo general***

Sintetizar, caracterizar y aplicar diferentes combinaciones de nanopartículas en un prototipo modelo para el tratamiento de aguas de río.

### ***1.3.2. Objetivos específicos***

- Realizar la síntesis verde de nanopartículas de plata, óxido de cobre, hierro y óxido de bismuto empleando extractos acuosos.
- Caracterizar las nanopartículas obtenidas mediante técnicas de espectroscopia ultravioleta visible (UV-VIS), espectroscopia de infrarrojo (IR) y microscopia electrónica de barrido (SEM).
- Aplicar las nanopartículas en un prototipo modelo para el tratamiento de aguas de río.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

La nanotecnología se define como el campo de las ciencias y tecnologías aplicadas, donde se usa un control de los materiales a escala atómica y molecular, es decir, debajo de los 100 nanómetros. Estos nanomateriales presentan diferentes propiedades tanto físicas como químicas, en relación a las sustancias a escala normal, por lo que tienen una amplia aplicación industrial (ACSA 2023, p. 2).

Las nanopartículas son nanoestructuras utilizadas por su facilidad de obtención y manipulación por su tamaño y forma. Este tipo de partículas ya sean metálicas o de óxidos metálicos poseen propiedades de conducción eléctrica o magnéticas que permite su aplicación en varias áreas, como por ejemplo: se usan como marcadores biológicos, uso como agentes bactericidas, en celdas solares, etc., (Álvarez 2021, p. 17).

En España, una investigación sobre “Síntesis verde de nanopartículas para la eliminación de colorantes en medios acuosos”, determinó que, se obtuvieron nanopartículas de hierro y de plata mediante síntesis verde con un extracto de eucalipto como agente reductor y estabilizante, además, se verificó que, la formación de las nanopartículas de hierro fue inmediata en comparación con las de plata, cuya síntesis es más lenta y puede llevar algunas semanas. Al evaluar la capacidad de eliminación del colorante en el agua se observó que, las nanopartículas sintetizadas tuvieron baja capacidad de adsorción en la eliminación de los colorantes presentes en el efluente acuoso (Neira 2020).

En México, en un análisis sobre “Síntesis biomimética de nanopartículas de plata utilizando extracto acuoso de nopal (*Opuntia spp.*) y su electrohilado polimérico”, se realizó el estudio mediante microscopía electrónica de transmisión, observando que, las nanopartículas tenían una forma esférica de tamaño entre 4-28 nm (valor promedio de 10 nm). La incorporación de nanopartículas de plata en nanofibras de PVA fueron caracterizadas por microscopía SEM y difracción de rayos X (DRX) y al analizar su actividad bactericida se observó que inhibía el crecimiento de microorganismos como *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Aspergillus niger* (Ledezma et al. 2019, p. 133).

En Colombia, un estudio sobre “Nanomateriales, nanopartículas y síntesis verde”, determinó que, la síntesis verde es una técnica amigable con el medio ambiente, que permite la bioproducción de

nanopartículas en conjunto con materiales de tipo metálico. Se considera que, uno de los primeros reportes fue la producción de nanopartículas de plata usando la alfalfa como especie vegetal, la cual, fue tratada con nitrato de plata (Gómez 2023, p. 78).

En Perú, una investigación acerca de “Síntesis y caracterización de las nanopartículas de hierro con extracto de hojas del *Eucalyptus globulus spp.*”, realizó la evaluación de la eficiencia de las nanopartículas de hierro sintetizadas para poder remover el color de agua residual (con una concentración inicial de 200 mg/L) y se formaron nanopartículas de un diámetro promedio de 93 nm, determinando que, al utilizar 2 mililitros de nanopartículas de hierro se podía reducir la concentración de colorantes hasta 50,71 mg/L, convirtiéndola en la alternativa idea para la reducción de este contaminante en las aguas residuales (Pérez y Villalva 2021, p. 93).

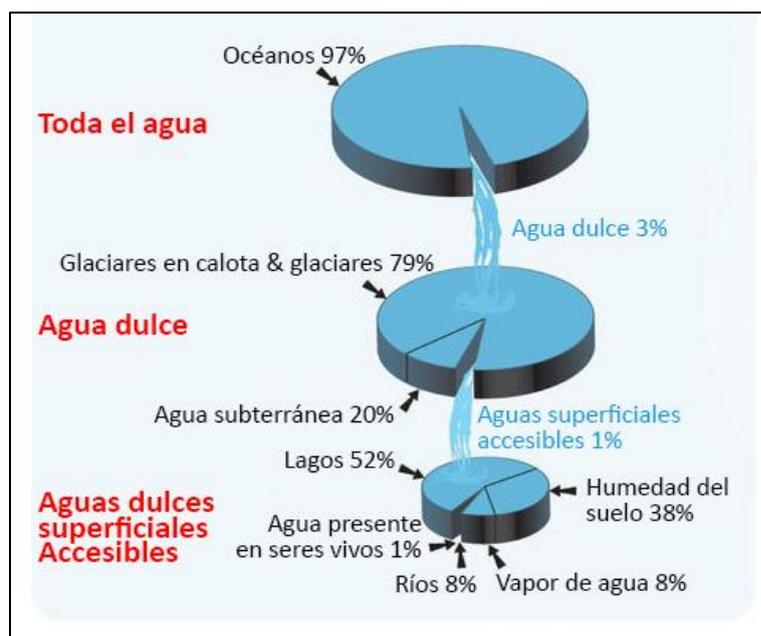
En Ecuador, un estudio sobre “Síntesis verde de nanopartículas de plata como agente bactericida para el tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico”, determinó que, las nanopartículas que fueron obtenidas por una síntesis verde presentaron acción bactericida ante bacterias como *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella paratyphi*, *Edwardsiella tarda*, *Pseudomona oryzihabitans* y *Shigella flexneri*, siendo altamente efectivas en la biorremediación de aguas biológicamente contaminadas (Moreno et al. 2022, p. 1333).

## **2.2. Referencias teóricas**

### **2.2.1. Agua**

El agua es una sustancia de vital importancia para el desarrollo de la vida. Es una molécula con estructura sencilla (dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno) unidos mediante enlaces polares. Este recurso es responsable de diversos procesos de la vida ya que la supervivencia de las células depende de su capacidad en el mantenimiento del volumen celular y la homeostasis. Presenta diversas características como: fuerte poder ionizante, elevada conductividad térmica, es aislante y tiene gran capacidad disolvente (Carbajal 2020, p. 2).

Se estima que existe alrededor de 1400 millones de km cúbicos de agua, la cual, está distribuida a nivel mundial como se indica en la ilustración 2-1 (SEMARNAT 2020, p. 363):



**Ilustración 2-1:** Distribución del agua en el mundo

Fuente: SEMARNAT, 2019.

### 2.2.1.1. Agua de río

Un río se caracteriza por ser una corriente de agua que fluye desde el lugar de su nacimiento hasta su desembocadura en un lago, río o en el mar. El caudal del río depende de sus partes y se pueden alimentar de varias formas: precipitaciones, manantiales, filtraciones, escorrentía terrestre y agua de hielo (Escobar 2019, p. 7).

### 2.2.1.2. Contaminación del agua

Existe una gran variedad de agentes contaminantes del agua, que modifican su calidad, convirtiéndola en dañina o peligrosa para consumo humano, agricultura, industria, pesca y otras actividades. Actualmente, existe gran preocupación por los contaminantes emergentes, que son compuestos de diferente naturaleza y origen, que pueden tener un alto impacto ecológico y a nivel sanitario, destacando los siguientes: pesticidas, productos farmacéuticos, drogas ilícitas, surfactantes y aditivos industriales (Gil et al. 2020, p. 60).

### 2.2.2. Microbiología

Es el estudio de los microorganismos y sus actividades. Esto concierne a su forma, estructura, fisiología, reproducción, metabolismo e identificación. El objetivo de la microbiología es comprender las actividades perjudiciales y beneficiosas de los microorganismos, para diseñar la

manera de reducir o eliminar los daños. Los microorganismos cumplen funciones esenciales en todos los ecosistemas; estableciendo relaciones mutualistas, parasíticas o neutras entre ellos y con los demás organismos. Desde hace miles de años, estos organismos han sido aprovechados para la producción de alimentos, debido a su potencial de aprovechamiento biotecnológico dada su diversidad metabólica (Garcés 2021, p. 2).

### **2.2.2.1. Bacterias**

Las bacterias son microorganismos de tipo procariota, presentan diversas formas (cocos, bacilos, espirilos, espiroquetas), carecen de núcleo y organelos celulares. A nivel estructural se caracteriza por tener una pared celular con peptidoglicano y un cromosoma bacteriano que es una molécula circular de ADN con un total de 5 millones de pares de bases nitrogenadas. Las bacterias se dividen por fisión binaria, intercambiando de ese modo la información genética, lo que les ha permitido tener una mejor adaptación al medio ambiente, como presión osmótica baja, temperaturas extremas y diferentes fuentes de energía para las actividades metabólicas (Fajardo 2020, p. 13).

#### **- *Bacterias patógenas en el agua***

Se considera que, la presencia de bacterias, virus, parásitos y hongos a nivel del agua se produce por cambios en el ambiente y en la población (industrialización, urbanización no controlada, pobreza, disposición inadecuada de desechos humanas y animales, entre otros). Todo cambio en las actividades antropogénicas se reflejan en el entorno y en el recurso hídrico (Ríos et al. 2020, p. 237).

Por esto es importante evaluar los indicadores microbiológicos de la calidad del agua, que pueden ser bacterias gram positivas (*Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Enterococcus*, *Clostridium*) o gram negativas, que a la vez se subdividen en enterobacterias (*Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Citrobacter*, *Serratia*, *Shigella* y *Salmonella*) y no enterobacterias (*Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Moraxella*, *Acinetobacter*, *Neisseria*, entre otros) (Ríos et al. 2020, p. 239).

#### **- *Mecanismos de resistencia bacteriana***

La resistencia bacteriana tanto natural como adquirida se puede abordar desde el punto de vista molecular y bioquímico, de tal forma que se clasifican en tres mecanismos básicos: inactivación del antibiótico, alteración del sitio blanco del medicamento y alteración de barreras de permeabilidad (Perez y Robles 2020, p. 189).

**Acción de los plásmidos:** Los plásmidos y transposones son elementos genéticos móviles donde se transportan los genes de resistencia. Los plásmidos son fragmentos de DNA bacteriano con longitud variable. Algunos plásmidos y transposones poseen elementos génicos denominados integrones que les permite capturar varios genes exógenos determinando la aparición de una cepa 14 multirresistente (Perez y Robles 2020, p. 189).

**Inactivación del antibiótico:** El fenotipo de resistencia antibiótica por destrucción o modificación de la estructura química es un proceso molecular caracterizado por la producción de enzimas que van a llevar a cabo esta función. Las enzimas que destruyen la estructura química, más conocidas, son las betalactamasas que se caracterizan por hidrolizar el núcleo beta-lactámico rompiendo el enlace amida, otra enzima es la eritromicina esterasa que cataliza la hidrólisis del anillo de lactona del antibiótico (Perez y Robles 2020, p. 189).

**Alteración del sitio blanco del antibiótico:** Consiste en la modificación de algunos sitios específicos de la célula bacteriana como la pared celular, la membrana celular, la subunidad 50S o 30S ribosomales, entre otras. En cuanto a las modificaciones a nivel ribosomal, los cambios que ocurren en las subunidades 30S y 50S los cuales son los sitios de acción de aminoglucósidos, macrólidos, tetraciclinas y lincosamidas (Perez y Robles 2020, p. 189).

**Alteración de las barreras de permeabilidad:** Este mecanismo se debe a los cambios que se dan en los receptores bacterianos específicos para los antimicrobianos o por alteraciones estructurales en los componentes de envoltura de la célula bacteriana (membrana o pared celular) que influyen en la permeabilidad, así como a la pérdida de la capacidad de transporte activo a través de la membrana celular o la expresión de bombas de eflujo las cuales se activan en el momento en que el antibiótico se introduce a la célula (Perez y Robles 2020, p. 189).

**Bombas de eflujo:** En la membrana celular se encuentran las llamadas bombas de eflujo que llevan a cabo la internalización y expulsión de los antimicrobianos. Una amplia variedad de bombas de eflujo provee resistencia antimicrobiana tanto en bacterias Gram positivas como en Gram negativas. El eflujo activo de antibióticos es mediado por proteínas transmembranales. En el caso de las bacterias Gram negativas involucra también componentes en la membrana externa y citoplasma. Estas proteínas forman canales que exportan activamente a un agente antimicrobiano fuera de la célula tan rápido como entra (Perez y Robles 2020, p. 189)

### **2.2.3. Nanotecnología**

La nanotecnología es una ciencia concerniente a los materiales y sistemas cuyos componentes y estructuras exhiben nuevas propiedades químicas, físicas y biológicas, producto de su tamaño a nanoescala. El significado de nano se debe a una dimensión que equivale a  $10^{-9}$  metros, lo que equivale a que un milímetro contiene 1.000.000 de nanómetros (Álvarez et al. 2019, p. 69).

Existen dos técnicas experimentales que pueden producir nanopartículas como son: top down y bottom up (Mendoza y Rodríguez 2021, p. 169).

#### **2.2.3.1. Top down**

Top-down es un método que comienza con una cantidad grande de material, que se reduce a objetos de menor tamaño, además, la cantidad del material de partida se puede visualizar en el microscopio o a escala humana. Se originó de las técnicas para microfabricación que fueron usadas a nivel de la industria de semiconductores y se basa principalmente en métodos fotolitográficos y ópticos (Mendoza y Rodríguez 2021).

#### **2.2.3.2. Bottom up**

Bottom-up es un método que comienzan con materiales a escala nanométrica y usan grupos de átomos como una especie de bloques de construcción, para formar partículas más grandes y delgadas. Se emplea comportamientos químicos, físicos y biológicos para formar automáticamente estructuras grandes y ordenadas. Esta técnica incluye tres etapas: síntesis química (método para producir materias primas complejas), autoensamble (los átomos se ordenan en las nanoestructuras mediante interacciones) y ensamble posicional (los átomos son manipulados y posicionados uno por otro) (Mendoza y Rodríguez 2021, p. 169).

### **2.2.4. Nanopartículas**

Son partículas con una o más dimensiones del orden de 100 nm o menos, según su origen pueden ser naturales (pueden ser de origen biológico como virus y bacterias o de origen mineral como el polvo, etc.) o generadas por el hombre (elaboradas por nanotecnología). Se puede clasificar en una, dos y tres dimensiones como se indica en la tabla 2-1.

**Tabla 2-1:** Clasificación de nanopartículas según la dimensión

Tipo	Ejemplos
Una dimension	- Usadas en el recubrimiento de superficies - Usada como película fina
Dos dimensiones	- Nanotubos - Nanohilos
Tres dimensiones	- Nanocristales - Puntos cuánticos - Fullerenos

Realizado por: Sánchez F., 2023

#### **2.2.4.1. Síntesis de nanopartículas**

La síntesis de nanopartículas, ya sea por el método de la fase gaseosa (CVD) o por el método de la fase líquida (PVD), requiere de un equipo específico y de un proceso que cumpla con los siguientes parámetros (Márquez et al. 2021, p. 15):

- Se debe controlar el tamaño de partícula, la forma, distribución de tamaños, estructura cristalina y la distribución de los diferentes componentes químicos.
- Se debe mejorar la pureza de las nanopartículas
- Estabilizar las propiedades a nivel físico, reactantes y estructuras
- Controlar la agregación
- Conseguir una mayor reproducibilidad

#### **2.2.4.2. Nanopartículas de plata**

Las nanopartículas de plata se caracterizan por presentar acción antibacteriana que depende del tamaño de la partícula, la dosis y su morfología. El método más común para la síntesis de este tipo de nanopartículas es la reducción de una solución salina de plata usando un agente reductor como, por ejemplo, el citrato, borohidruro de sodio o ascorbato. Otros métodos se basan en la condensación de gases, deposición sonoquímica y la irradiación láser. Además, se ha evidenciado que, el tamaño de las nanopartículas depende de pH del medio y de la concentración de amonio a lo largo del proceso de reducción (Leyva 2021, p. 19).

#### **- Mecanismo de acción antibacteriana**

Su mecanismo de acción se basa en adherirse a la membrana celular, con el fin de alterar la permeabilidad y las funciones respiratorias de la célula, pudiendo penetrar incluso al interior de la bacteria. Por ejemplo, las nanopartículas de plata estabilizadas con lauril sulfato de sodio

presentan mayor poder antibacteriano, al ser un surfactante iónico que tiene la capacidad de alterar la pared celular, principalmente de las bacterias gram positivas. El efecto bactericida puede ser un sinergismo de los mecanismos presentados a continuación: las nanopartículas y el material estabilizante alteran la membrana de la bacteria, se penetra la bacteria por su tamaño diminuto, liberan iones de plata para alterar su citoplasma, de modo que se inactivan las bacterias (Leyva 2021).

#### **2.2.4.3. Nanopartículas de hierro**

Las nanopartículas de hierro pueden ser de tipo cero valente (nHCV) u óxidos de hierro. En el caso de las primeras, se caracterizan por tener un tamaño de 100 nm aproximadamente, con un área superficial de 22-54 m<sup>2</sup> /g y pueden llegar a reaccionar hasta mil veces más rápido que el hierro micrométrico (Ferro 2020, p. 17).

##### **- *Métodos de síntesis de nanopartículas de hierro***

Existen diversos métodos de síntesis de las nanopartículas de hierro como se indica a continuación:

- La reducción química acuosa implica la adición de un agente reductor en una solución de sal férrica a temperatura ambiente, presión y con agitación continua. El agente reductor como por ejemplo, el borohidruro de sodio se añade para obtener partículas nanométricas, evitando así su oxidación, sin embargo, es un método de alto costo y se requiere de grandes cantidades de hidrógeno (Ferro 2020, p. 20).
- La reducción gaseosa es un método donde se usa el hidrógeno como agente reductor y altas temperaturas (200-600 °C). Las nanopartículas suelen ser de 100 nm, con forma irregular y estructura cristalina en el núcleo (Ferro 2020, p. 20).
- El fresado de precisión se basa en fuerzas de impacto mecánico para descomponer micropartículas de hierro y producen nanopartículas de forma irregular por la deformación en el fresado (Ferro 2020, p. 21).
- En la descomposición térmica, el pentacarbonilo de hierro se coloca en un disolvente a altas temperaturas (140-160°C), produciendo nanopartículas cuyo único subproducto es el monóxido de carbono, sin embargo, la desventaja de este método es la alta toxicidad del pentacarbonilo de hierro (Ferro 2020, p. 21).
- El método electroquímico consiste en realizar una electrólisis en donde se descompone una solución de sales de hierro mediante electrodos y una corriente eléctrica continua. Además, es rápido, económico y no involucra reactivos químicos (Ferro 2020, p. 22).

- ***Mecanismo de acción***

Las nanopartículas de hierro tienen la capacidad de reaccionar, adsorber, degradar o transformar contaminantes presentes en el suelo y las aguas subterráneas (Dada et al. 2021, p. 139).

Su actividad bactericida depende del tamaño de la nanopartícula y del contenido de hierro. El modo de acción se basa en la estructura del núcleo de recubrimiento, porque actúan como un adsorbente que permite eliminar los contaminantes de la superficie, al inmovilizarlos sin que se dé una destrucción física (Ferro 2020).

***2.2.4.4. Nanopartículas de óxido de cobre***

El óxido de cobre se caracteriza por ser un semiconductor con una estructura cristalina centrada, tiene una alta conductividad y efectos de electrones de correlación. Además, al tener un menor costo que la plata, se mezcla con polímeros y tiene una mayor estabilidad a nivel químico y físico. Otro aspecto importante es que este tipo de nanopartícula tiene amplia aplicación por su poder antimicrobiano (Reyes 2021, p. 8).

- ***Mecanismos de obtención de nanopartículas de óxido de cobre***

Existen varios métodos para la síntesis de nanopartículas de óxido de cobre que incluye las siguientes (Reyes 2021, p. 8):

- La técnica de sol-gel se basa en la obtención de recubrimientos vítreos a bajas temperaturas y mediante un proceso sencillo. La estructura del material depende de aspectos como: pH, estabilidad de los reactivos, temperatura de reflujo y cantidad de agua.
- En el método de Pechini, algunos ácidos forman quelatos con cationes metálicos, obteniendo una resina polimérica donde los cationes están distribuidos uniformemente. Se calienta la resina a elevadas temperaturas (más de 300°C) provocando el rompimiento del polímero y obteniendo el óxido deseado
- La hidrólisis oxidasa implica dos mecanismos: la precipitación de la solución a través de unidades de crecimiento solubles o el reordenamiento interno de la estructura del precursor sólido. Se realizan reacciones heterogéneas a altas temperaturas (100°C) hasta obtener óxidos metálicos en medio acuoso

- ***Mecanismo de acción***

Estas nanopartículas tienen poder bactericida ya que actúan sobre bacterias como *Escherichia*

*coli*, *Salmonella entérica*, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter jejuni*, *Legionella pneumophila*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Clostridium difficile* entre otros (Reyes 2021).

Su acción bactericida se debe a su morfología, tamaño, relación superficie-volumen y al control de parámetros en la síntesis como: pH, temperatura de reacción, velocidad de agitación, etc. Los mecanismos de acción pueden ser los siguientes: inhibe la síntesis proteica, altera la permeabilidad de la membrana celular (causa daño oxidativo en los lípidos) y puede destruir los ácidos nucleicos bacterianos (Reyes 2021, p. 17).

#### **2.2.4.5. Nanopartículas de óxido de bismuto**

El óxido de bismuto es un compuesto que tiene estructuras cristalinas estables y metaestables, estas últimas pueden ser transformadas a estables cuando su ambiente está a baja temperatura. Las nanopartículas de óxido de bismuto se obtienen de una síntesis química o biológica y en la actualidad se usan como inhibidores de microorganismos patógenos por su alto potencial pese a su reducido tamaño (Álvarez 2021).

##### **- *Métodos de obtención de nanopartículas de óxido de bismuto***

Se pueden obtener las nanopartículas de óxido de bismuto por los siguientes métodos: (Castañeda 2022, p. 24).

- En el método de Pechini, el óxido de bismuto es un focalizador que brinda estabilidad a varias sustancias. Para obtener nanopartículas se usa el etilenglicol como agente polímero y una vez que se alcanza un pH básico, se elimina la humedad de la solución.
- El método de Perovskita se realiza a partir de dos sistemas acuosos, donde el bismuto se controla con ácido carboxílico en un colchón de agua. Se mantiene la estabilidad con un agitador magnético, se elimina el solvente para aumentar la viscosidad de las sustancias del sistema y finalmente, se calcina a 750 °C para obtener óxidos de bismuto.
- En el método de ablación láser, se produce inicialmente una atmósfera de argón, luego se bombardea la sal de bismuto para obtener partículas de reducido tamaño (3-10 nanómetros) y de alta pureza.
- En el método de bombardeo se obtienen partículas de bismuto de tamaño nanométrico, donde se realiza una radiación de los electrones a una partícula de bismuto. Cuando el ángulo y el tiempo es correcto, se producen estructuras finas, con forma de diamantes, que tienen una alta estabilidad.
- La síntesis verde se puede realizar a nivel intracelular o extracelular mediante estrategias donde se usen extractos acuosos de especies vegetales, que contienen uno o más principios activos

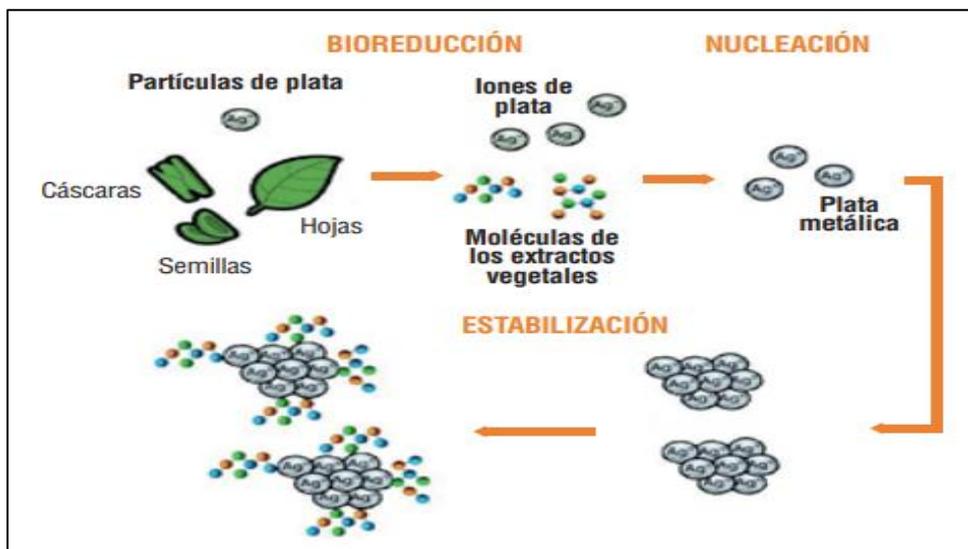
de una planta.

- **Mecanismo de acción**

Estas nanopartículas tienen características lipofílicas, con afinidad por la membrana plasmática bacteriana, de modo que actúan sobre el microorganismo patógeno. Además, pueden eliminar el biofilm de las bacterias (agregados adherentes formado en la superficie), el cual, le confiere una mayor resistencia a los antibióticos (Delgadillo 2022, p. 12).

**2.2.5. Síntesis verde**

La síntesis verde es una técnica amigable al medio ambiente, que se basa en la bioproducción de materiales nanoparticulados junto a materiales metálicos como la plata, oro, hierro y óxidos metálicos. Inicialmente, este proceso se basó en la biorremediación, usando funciones naturales de las plantas para extraer y recuperar metales de suelos que se encuentran contaminados. Sin embargo, en la última década se ha demostrado que muchos sistemas biológicos pueden sustituir a los agentes químicos como, por ejemplo: plantas, diatomeas, algas, virus, bacterias, hongos, levaduras y células humanas. Los microorganismos tienen la capacidad de transformar los iones inorgánicos metálicos en nanopartículas a través de capacidades reductoras como se indica en la ilustración 2-2 (Gómez 2023).



**Ilustración 2-2:** Proceso de formación de nanopartículas de plata-síntesis verde

Fuente: Gómez 2019.

**2.2.6. Caracterización de nanopartículas**

Existen diversos métodos de caracterización de las nanopartículas, basados en varios fundamentos

de las técnicas fisicoquímicas para estudiar las propiedades de los sistemas nanoestructurados (Yanchapanta 2022, p. 20).

### **2.2.6.1. Espectroscopía infrarroja (FT-IR)**

La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier se usa en análisis cualitativos y cuantitativos, basándose en las absorbancias de energía que ocurren en los estados de rotación y vibración. En el caso de las vibraciones moleculares pueden ser de flexión o estiramiento (distancias cambiantes en un enlace entre átomos) y además, cada tipo de vibración absorbe diferentes frecuencias dentro de la zona del infrarrojo (Domingo 2021, p. 6).

### **2.2.6.2. Microscopía electrónica de barrido**

El microscopio electrónico de barrido se usa para determinar el tamaño, forma y composición las nanopartículas a través de un detector de rayos X, ya que se puede identificar partículas con tamaños desde 10 nm, para tener imágenes en 3D por la emisión de electrones de una muestra. La señal se visualiza en un monitor y los átomos producen rayos X, obteniendo información cualitativa y semicuantitativa acerca de la composición de la muestra (Lopez 2022, p. 11).

### **2.2.6.3. Espectroscopía ultravioleta visible (UV-VIS)**

En la espectroscopía UV-VIS se absorbe radiación electromagnética por parte del analito de modo que, si la radiación incide en el compuesto, se absorberá y la molécula tendrá un estado de mayor excitación. La técnica permite caracterizar nanomateriales, brindando información cualitativa y cuantitativa mediante las longitudes de onda (San Miguel 2022, p. 30).

### **2.2.7. Menta (*Mentha arvensis*)**

La menta japonesa es una hierba de tipo perenne que se propaga mediante rizomas, posee hojas lanceoladas, se adapta a climas tropicales y a zonas con precipitación pluvial de 1,300-2,000 mm. *Mentha arvensis* tiene una alta cantidad de componentes como sesquiterpenos, polifenoles, ácido glicosídico, ácido cafeínico, limoneno, entre otros. En cuanto a sus propiedades, se destaca por su poder antibacteriano, analgésico, antioxidante, digestivo, sedativo, carminativa, diaforética, antiséptica, diurética, antiviral, colagoga, tónico, antiespasmódica y estimulante. Además, tiene actividad antibacteriana contra bacterias de tipo gram-negativas y gram-positivas, principalmente con *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Serratia marcesens*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Streptococcus spp* (Hernández 2020, p. 6).

### **2.2.8. Eucalipto (*Eucalyptus globulus*)**

El eucalipto es un árbol con corteza de tonalidad gris, hojas dimorfas y su altura puede rebasar los 100 mts. Esta planta tiene una alta cantidad de metabolitos secundarios como flavonoides, alcaloides, taninos, componentes fenólicos y fenilpropanoides que se extraen del tallo, hojas o raíz. Dentro de su actividad antimicrobiana, actúa principalmente frente a cepas como *Salmonella enteritidis*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis* y *Bacillus subtilis* (Zamora y Toro 2021, p. 96).

### **2.2.9. Matico (*Piper aduncum*)**

El matico es un arbusto perenne que alcanza una altura de 5 m, crece de manera silvestre o domesticada a nivel de la costa, sierra y región amazónica. Tradicionalmente se usa como desinfectante, cicatrizante, antidiarreico, anticancerígeno, antivenéreo y para el tratar resfriados, bronquitis, úlceras, herpes y estreñimiento. En cuanto al extracto del matico, se ha evidenciado que tiene actividad antimicrobiana contra microorganismos como *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Cryptococcus neoformans*, *Mycobacterium smegmatis* y *Saccharomyces cerevisiae* (Lock 2021, p. 30).

### **2.2.10. Uvilla (*Physalis peruviana* L)**

La uvilla es una planta que crece en forma herbácea inicialmente, luego forma un arbusto perenne con un tamaño aproximado de 1-2 cm de largo. Presentan bajas concentraciones de actividad inhibitoria frente a bacterias patógenas como es el caso de *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Klebsiella pneumoniae*, por lo que es importante potenciar su efecto con otras especies vegetales de mayor actividad antimicrobiana (Fischer et al. 2020, p. 2).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Enfoque, diseño y alcance

Esta investigación tuvo un diseño experimental, enfoque cuantitativo y corte transversal, debido a que, se realizó la síntesis, caracterización y aplicación de diferentes combinaciones de nanopartículas en un prototipo modelo construido por la Facultad de Mecánica de la ESPOCH para el tratamiento de aguas de río, en el período septiembre 2023-enero 2024.

#### 3.2. Población de estudio y/o tamaño de muestra

La población de estudio estuvo conformada por las especies vegetales de menta (*Mentha arvensis*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*), matico (*Piper aduncum*) y uvilla (*Physalis peruviana* L).

##### 3.2.1. Muestra

La muestra de estudio correspondió a los extractos vegetales de menta (*Mentha arvensis*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*), matico (*Piper aduncum*) y uvilla (*Physalis peruviana* L).

#### 3.3. Criterios de inclusión

Hojas de menta (*Mentha arvensis*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*), matico (*Piper aduncum*) y uvilla (*Physalis peruviana* L).

#### 3.4. Criterios de exclusión

- Tallos de la menta, eucalipto, uvilla y matico
- Frutos de menta, eucalipto, uvilla y matico
- Extractos de otras especies vegetales

#### 3.5. Hipótesis

Las combinaciones de las nanopartículas de plata, hierro, óxido de cobre y óxido de bismuto son eficaces para el tratamiento de agua.

### 3.5.1. Identificación de variables

#### Variable dependiente:

Eficacia de las combinaciones de las nanopartículas en el tratamiento de agua

#### Variable independiente:

Nanopartículas de plata, hierro, óxido de cobre y óxido de bismuto

## 3.6. Parte experimental

### 3.6.1. Equipos y materiales

En la Tabla 3-1 se presentan los equipos y materiales usados para el desarrollo de la investigación:

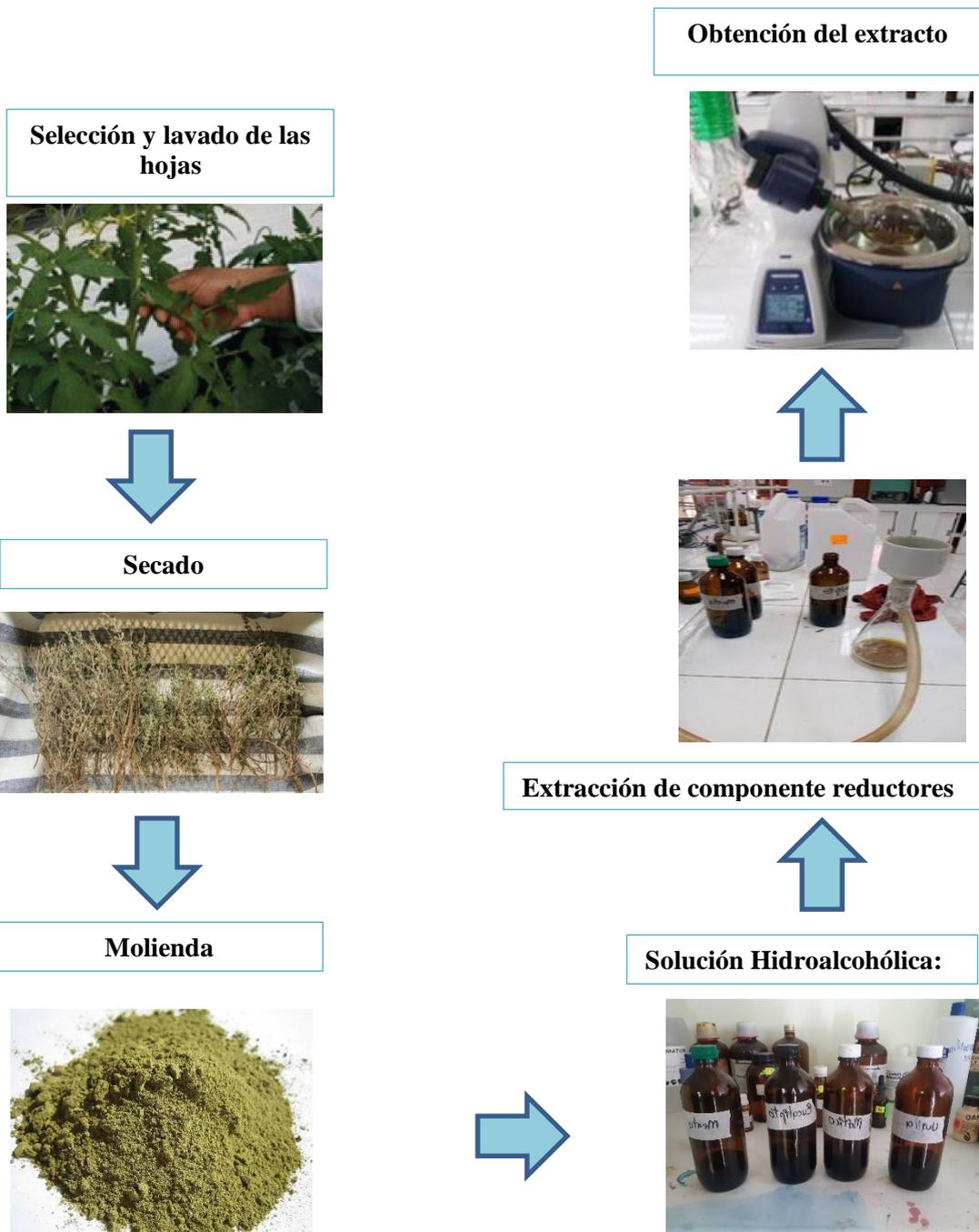
**Tabla 3-1:** Equipos y materiales usados en el estudio

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
- Balones de aforo	- Centrifuga	- Etanol
- Erlenmeyer	- Rota vapor	- Plata
- Vasos de precipitación	- Agitador magnético	- Óxido de cobre
- Pipetas graduadas	- Espectrofotómetro UV-VIS	- Hierro
- Pro pipeteadores	- Espectrofotómetro FT-IR	- Óxido de bismuto
- Kitasato	- Microscopio electrónico de barrido (SEM)	- Extracto de menta ( <i>Mentha arvensis</i> )
- Embudo Büchner	- Balanza analítica	- Extracto de eucalipto ( <i>Eucalyptus globulus</i> )
- Probetas	- Estufa	- Extracto de matico ( <i>Piper aduncum</i> )
- Botellas ámbar	- Auto clave	- Extracto de uvilla ( <i>Physalis peruviana</i> L).
- Tubos de centrifugas		- Agua destilada
- Cajas Petri		
- Espátulas		
- Puntas de micropipetas		
- Fundas plásticas con cierre hermético		
- Piseta		
- Pera		
- Gradilla		

Realizado por: Sánchez F., 2024

### 3.6.2. Extracción del extracto acuoso de las especies vegetales

A continuación, en la ilustración 3-1, se indica el proceso que se realizó para la extracción del extracto acuoso de las especies vegetales:



**Ilustración 3-1:** Obtención del extracto acuoso de las especies vegetales

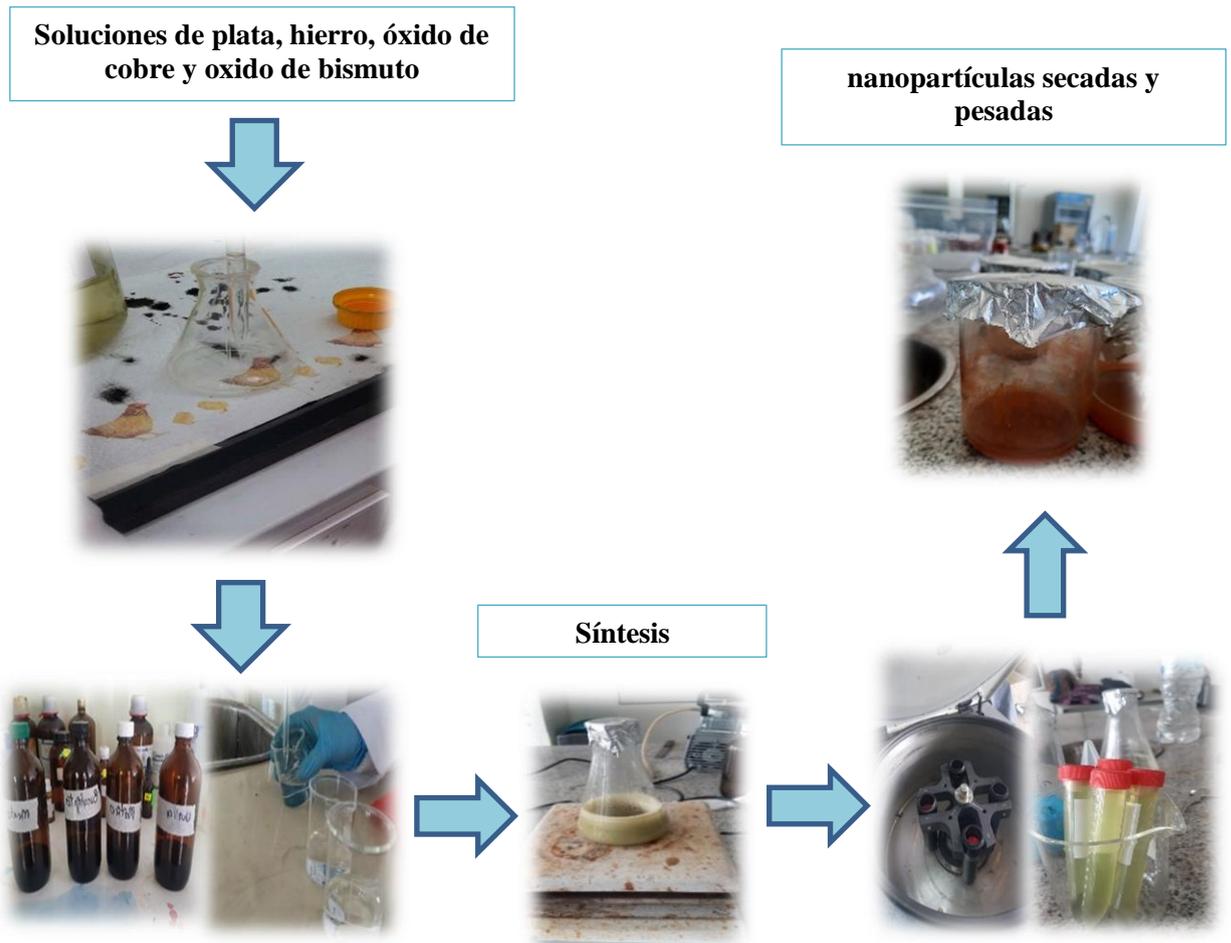
Realizado por: Sánchez F., 2024

### 3.6.3. Síntesis de nanopartículas

Para la elaboración de nanopartículas se utilizó el método de síntesis verde el cual se basa en el uso de extractos vegetales como agente reductor y estabilizador, así también como un buen control de tamaño y forma.

### 3.6.3.1. Síntesis verde de nanopartículas

Para obtener nanopartículas de plata, hierro, óxido de cobre y óxido de bismuto, el precursor y el agente reductor se mezcló en una proporción de 1:1 en un matraz limpio y estéril. Se añadió 10 ml de extracto vegetal y se mezcló con 50 ml de solución acuosa de las nanopartículas, manteniendo la mezcla a temperatura ambiente durante 30 minutos, removiendo continuamente usando un agitador magnético.



**Ilustración 3-2:** Proceso de la síntesis verde de nanopartículas de plata

Realizado por: Sánchez F., 2024

### 3.6.4. Caracterización de nanopartículas

#### 3.6.4.1. Espectroscopía ultravioleta visible (UV-Vis)

##### - Fundamento

La caracterización de las nanopartículas de plata, óxido de cobre, hierro, y óxido de bismuto se

analizó mediante la espectroscopia ultravioleta visible (UV-Vis) en donde se determina la cantidad de radiación UV que es absorbida por una determinada muestra a una longitud de onda UV comprendida en un rango de 160 a 780nm. Dicha absorción de radiación se produce cuando el haz de luz o energía es absorbido por la molécula generando un salto de un electrón desde el estado energético basal hasta el estado de mayor energía o también denominado estado de excitación, por lo tanto, solo será absorbida aquella energía que permita pasar al estado de excitación. (Ferro 2020, p. 17).

- **Procedimiento**

1. Se tomó 0,02 gramos de muestra y se agregó 20 ml de etanol, posterior a eso se llevó al sonicador para que sus agregados se puedan dispersar bien.
2. Medición de la longitud de onda: Se colocó la muestra diluida en la celda de cuarzo y se llevó al espectrofotómetro ultravioleta - visible para así efectuar la medición.

**3.6.4.2. Espectroscopia de infrarrojo (FT-IR)**

- **Fundamento**

Se emplea la técnica de espectroscopia de infrarrojo IR para determinar los diferentes grupos funcionales que posee la muestra. Dentro de esta técnica analítica se estudia dos categorías de vibraciones, las cuales son, la vibración de tensión y la vibración de flexión. (Ferro 2020, p. 17).

- **Procedimiento**

1. De las nanopartículas previamente pulverizadas se tomó una muestra de plata, Oxido de cobre, Hierro, y Oxido de bismuto,
2. Se procedió a colocar en el porta muestras del espectrofotómetro FT-IR, finalmente se cerró el equipo y se realizó el respectivo análisis.

**3.6.4.3. Microscopía electrónica de barrido**

- **Fundamento**

La microscopía electrónica de barrido permite determinar el tamaño y la morfología de una muestra a través del uso del microscopio electrónico de barrido el cual a través de su alta resolución identifica la estructura, dimensión superficial, porosidad y la composición química de la muestra analizada. (Ferro 2020, p. 17).

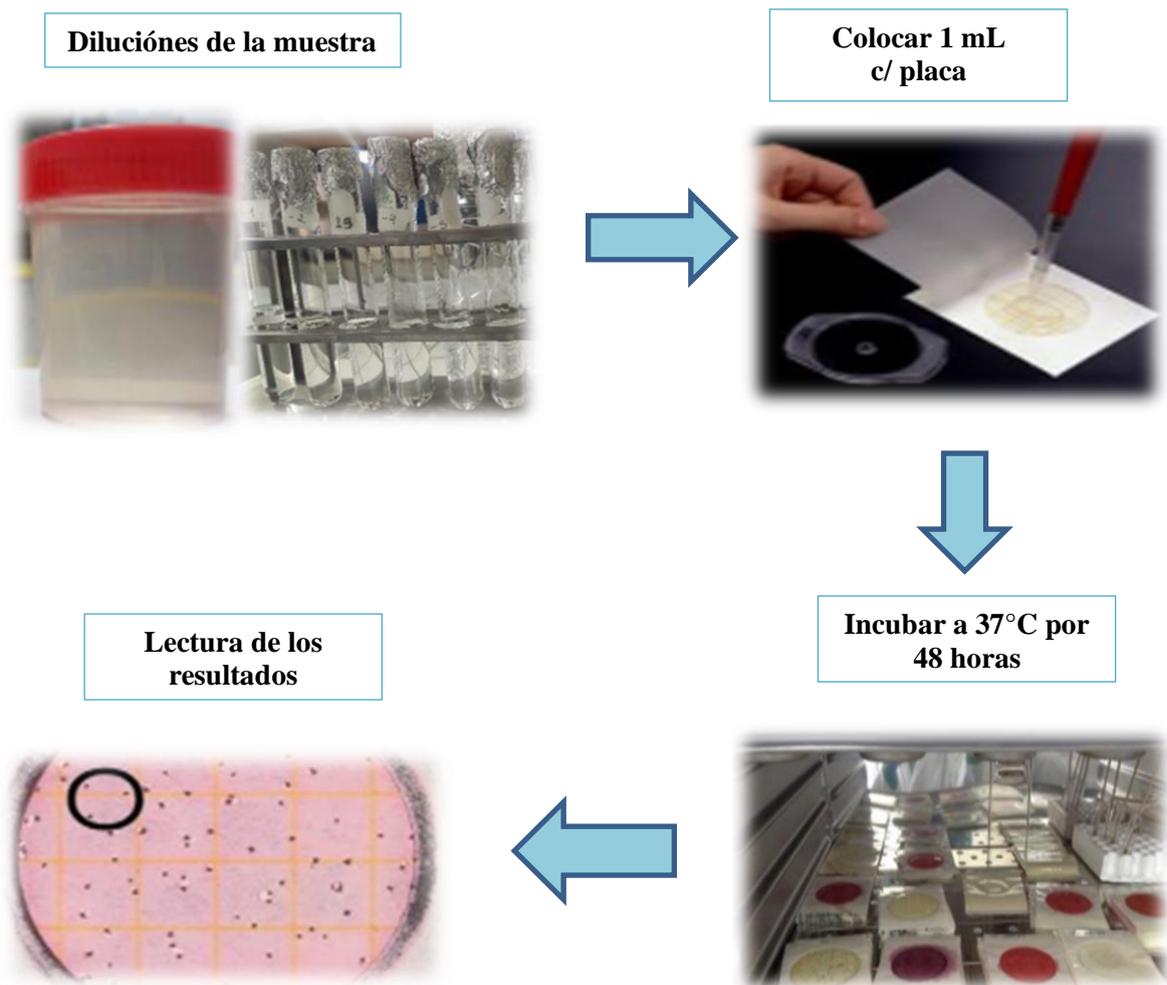
- **Procedimiento**

1. Se tomó una pequeña cantidad de las nanopartículas previamente lavadas y trituradas.
2. Con la ayuda de una cinta de carbón se colocó en el porta muestras del microscopio electrónico de barrido y se observó el resultado.

**3.6.5. Evaluación de la actividad bactericida de las nanopartículas de plata, óxido de cobre, hierro, y óxido de bismuto**

Para poder evaluar la actividad bactericida de las nanopartículas de óxido de plata, óxido de cobre, hierro y óxido de bismuto, se utilizó muestras de agua tomadas del río Chibunga, debido a esto se utilizó placas petrifilm que se usaron para los recuentos de coliformes totales y fecales.

A continuación, en la Ilustración 3-3, se presenta el procedimiento de siembra con las placas petrifilm



**Ilustración 3-3: Siembra en Placas Petrifilm**

Realizado por: Sánchez F., 2024

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Síntesis verde de nanopartículas de plata, óxido de cobre, hierro y óxido de bismuto empleando extractos acuosos

Se obtuvo el extracto acuoso de menta (*Mentha arvensis*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*), matico (*Piper aduncum*) y uvilla (*Physalis peruviana* L), como agentes biológicos reductores. Luego se realizó el tamizaje fitoquímico y se preparó la solución de la sal precursora para sintetizar las nanopartículas mencionadas anteriormente.

##### 4.1.1. Obtención del extracto acuoso de las hojas de menta (*Mentha arvensis*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*), matico (*Piper aduncum*) y uvilla (*Physalis peruviana* L)

Se realizó una extracción sólido-líquida, obteniendo como primer producto un extracto hidroalcohólico, y finalmente después de filtrar se obtuvieron extractos acuosos de las especies vegetales, como se indica en la ilustración 4-1:



**Ilustración 4-1:** Obtención de extractos de la menta, eucalipto, matico y uvilla

Realizado por: Sánchez F., 2024

##### 4.1.2. Tamizaje fitoquímico de extractos de hojas de menta, matico y uvilla

Se realizó el tamizaje fitoquímico de los extractos etéreo, alcohólico y acuoso de la menta (*Mentha arvensis*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*), matico (*Piper aduncum*) y uvilla (*Physalis peruviana*

L), obteniendo los siguientes resultados presentados en la tabla 4-1, 4-2 y 4-3:

**Tabla 4-1:** Tamizaje fitoquímico del extracto etéreo de las especies vegetales

Ensayo	Metabolito Secundario	Menta	Eucalipto	Mático	Uvilla
Ensayo de Sudan	Aceites y grasas	++	++	+	+
Ensayo de Baljet	Lactonas	++	++	+	+
Ensayo de Drangendorff	Alcaloides	+	+	+	+
Ensayo de Mayer	Alcaloides	++	++	+	++
Ensayo de Wagner	Alcaloides	+	++	+	+
Ensayo de Libermann Bucharl	Triterpenos – Esteroides	+	+	+	+
Muy positivo (+++), Positivo (++) , Ligeramente positivo (+), Negativo (-)					

Realizado por: Sánchez F., 2024

**Tabla 4-2:** Tamizaje fitoquímico del extracto hidroalcohólico de las especies vegetales

Ensayo	Metabolito Secundario	Menta	Eucalipto	Matico	Uvilla
Ensayo de Catequinas	Catequinas	+	+	+	+
Ensayo de Resinas	Resinas	+	+	+	+
Ensayo de Fehling	Azúcares reductores	++	++	-	++
Ensayo de Baljet	Lactonas	++	++	++	++
Ensayo de Libermann- Bucharl	Triterpenos- Esteroides	+	+	+	+
Ensayo de Cl <sub>3</sub> Fe	Fenoles y Taninos	++	++	++	++
Ensayo de Espuma	Saponinas	++	+	+	+
Ensayo de Ninhidrina	Aminoácidos	++	++	-	++
Ensayo de Shinoda	Flavonoides	++	++	++	++
Ensayo de Dragendorff	Alcaloides	++	++	++	++
Ensayo de Mayer	Alcaloides	+	+	+	+
Ensayo de Wagner	Alcaloides	+	+	+	+
Muy positivo (+++), Positivo (++) , Ligeramente positivo (+), Negativo (-)					

Realizado por: Sánchez F., 2024

**Tabla 4-3:** Tamizaje fitoquímico del extracto acuoso de las especies vegetales

Ensayo	Metabolito secundario	Menta	Eucalipto	Matico	Uvilla
Ensayo de Fehling	Azúcares reductores	++	+	-	+
Ensayo de Cl <sub>3</sub> Fe	Fenoles y Taninos	++	++	+	+
Ensayo de Espuma	Saponinas	++	+	+	+
Ensayo de Shidona	Flavonoides	+	+	+	+
Ensayo de Dragendorff	Alcaloides	+	++	++	++
Ensayo de Mayer	Alcaloides	++	+	++	+
Ensayo de Wagner	Alcaloides	++	++	++	++
Ensayo de Mucilagos	Mucilagos	-	+	+	+
Ensayo de Principios amargos	Principios amargos	-	++	-	++
Muy positivo (+++), Positivo (++) , Ligeramente positivo (+), Negativo (-)					

Realizado por: Sánchez F., 2024

En la tabla 4-1 se presentan los resultados del tamizaje fitoquímico de los extractos etéreos de las especies vegetales, determinando que, la menta, eucalipto, matico y uvilla presentan grasas, lactonas, alcaloides, triterpenos y esteroides. En la tabla 4-2 del tamizaje fitoquímico de los extractos hidroalcohólicos, se evidenció que las especies vegetales presentaron catequinas, resinas, azúcares reductores (excepto el matico), lactonas, triterpenos, fenoles, taninos, saponinas, aminoácidos (excepto el matico), flavonoides y alcaloides. En la tabla 4-3, se determinó que, en el extracto acuoso presentaron metabolitos como azúcares reductores (excepto matico), fenoles, taninos, saponinas, flavonoides, alcaloides, mucílago (excepto la menta) y principios amargos (excepto la menta y el matico).

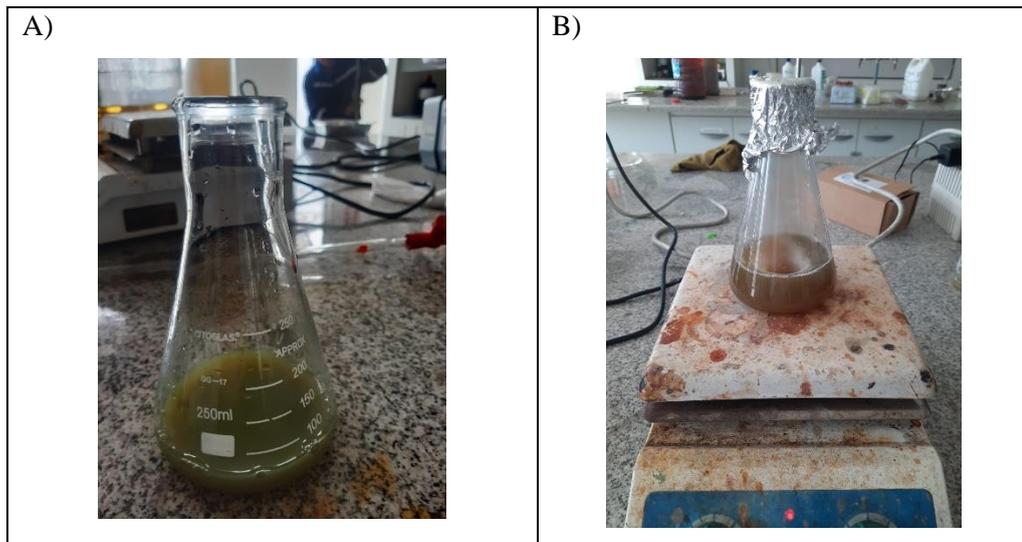
Como se evidencia en los resultados indicados anteriormente, la menta, eucalipto, matico y uvilla son especies vegetales que presentan una gran cantidad de metabolitos secundarios, que aportan con su capacidad bactericida, al ser respuestas fisiológicas al efecto de diversos agentes externos.

De acuerdo a un estudio sobre “Antioxidantes naturales y su poder reductor frente a iones de plata”, para la síntesis de nanopartículas se pueden usar extractos vegetales que actúen como reactivos en la recuperación de un metal, debido a que contienen sustancias con poder antioxidante como por ejemplo: flavonoides, fenoles y taninos, cuya actividad cumple un rol fundamental durante el proceso de reducción (Meléndez 2020, p. 2). Por esto, al haber determinado la presencia de estos metabolitos secundarios en el tamizaje de los extractos hidroalcohólico y acuoso de las especies vegetales, se confirma que pueden actuar como agentes biológicos reductores durante la síntesis de nanopartículas.

### 4.1.3. Síntesis verde de las nanopartículas de plata, hierro, óxido de cobre y óxido de bismuto

#### 4.1.3.1. Síntesis verde de nanopartículas de plata

Las nanopartículas de plata sintetizadas con extracto de las hojas de uvilla se analizaron en primera instancia de forma cualitativa, observando un cambio de color en la solución de verde claro a marrón oscuro como se observa en la ilustración 4-2.



**Ilustración 4-2:** Síntesis de nanopartículas de plata con extracto de uvilla

Realizado por: Sánchez F., 2024

De acuerdo a un estudio sobre “Síntesis verde de nanopartículas de oro y plata”, el mecanismo para la formación de nanopartículas de plata consta de tres fases: reducción de los iones, agrupamiento para formar núcleos y el crecimiento de la nanopartícula, es decir, la síntesis de este tipo de nanopartículas ocurre mediante una reacción de óxido reducción (extracto de uvilla es la sustancia reductora y la plata es la sustancia oxidante), por lo que el extracto acuoso causa una biorreducción de los iones plata, produciendo el fenómeno denominado “nucleación” donde se agregan átomos de plata para formar núcleos de nanopartículas, causando de este modo, el cambio de color de la solución donde se confirma la formación de suspensiones coloidales de las nanopartículas de plata (López 2021, p. 11).

En la tabla 4-4 se presenta el rendimiento experimental de las nanopartículas de plata:

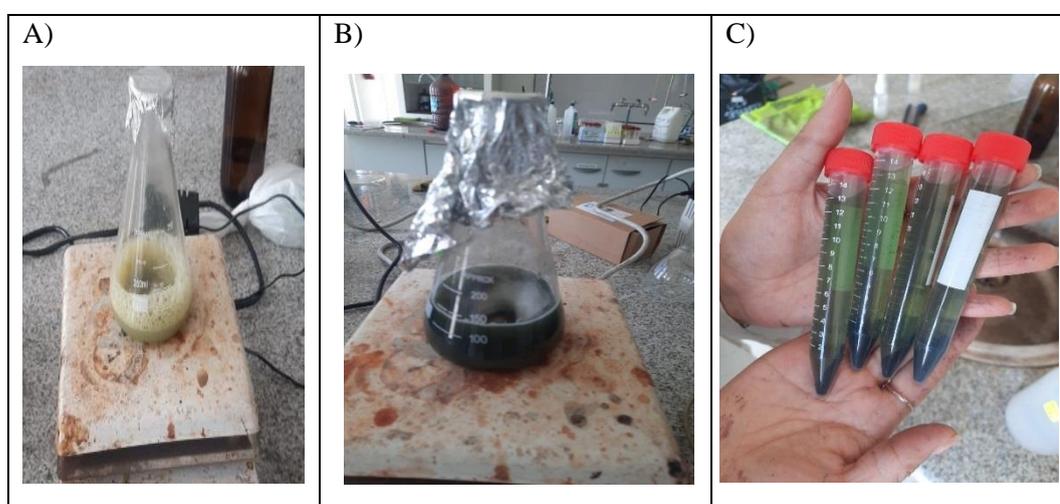
**Tabla 4-4:** Rendimiento de AgNPs

Concentración AgNPs(M)	Peso/Masa obtenida (g)
0.05 M	0,678

Realizado por: Sánchez F., 2024

#### 4.1.3.2. Síntesis verde de nanopartículas de hierro

Las nanopartículas de hierro fueron sintetizadas a temperatura ambiente a través del método de precipitación, usando como sal precursora al  $\text{FeCl}_3$  y agente reductor al extracto de matico, dando como resultado un precipitado negro que fue el indicativo de la formación de nanopartículas de hierro, como se observa en la ilustración 4-3:



**Ilustración 4-3:** Síntesis de nanopartículas de hierro con extracto de matico

Realizado por: Sánchez F., 2024

En una investigación sobre “Síntesis , caracterización y aplicación de nanopartículas de hierro , en la remoción de HTPs en suelos”, menciona que, la síntesis de este tipo de nanopartículas mediante el uso de extractos vegetales ha tomado mayor importancia, para evitar la síntesis química con borohidruro de sodio ya que es un químico corrosivo y altamente inflamabilidad. En la síntesis verde de utilizan extractos con alto contenido de polifenoles para que actúen como agentes estabilizantes y reductores (Murgueitio 2020, p. 71).

En la tabla 4-5 se presenta el rendimiento experimental de las nanopartículas de hierro:

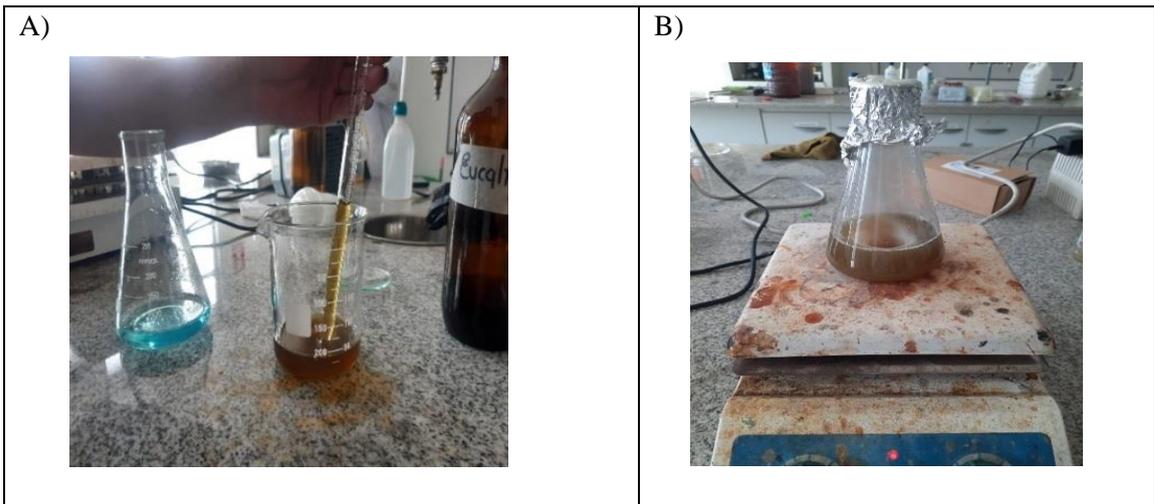
**Tabla 4-5:** Rendimiento de FeNPs

Concentración FeNPs (M)	Peso/Masa obtenida (g)
0.05 M	0,165

Realizado por: Sánchez F., 2024

#### 4.1.3.3. Síntesis verde de nanopartículas de óxido de cobre

Para obtener las nanopartículas de óxido de cobre se disolvió 1,248 g de sal precursora del sulfato de cobre, en el extracto acuoso de *Eucalyptus globulus* (eucalipto) obteniendo como resultado fue el cambio de coloración a marrón oscuro y la formación de precipitado, que en este caso fueron las suspensiones coloidales de las nanopartículas de óxido de cobre, como se indica a continuación en la ilustración 4-4:



**Ilustración 4-4:** Síntesis de nanopartículas de óxido de cobre con extracto de eucalipto

Realizado por: Sánchez F., 2024

De acuerdo a un estudio sobre “Síntesis verde de compuesto de nanopartículas de hierro y óxido de cobre”, este tipo de síntesis se caracteriza porque las nanopartículas se forman cuando el pH es igual o mayor a 6, dando como resultado una solución muy oscura (marrón oscuro o negro). Además, ha adquirido importancia debido a que es un elemento con actividad catalítica, antimicrobiana y antimicótica, considerando que sus propiedades dependen del tamaño y la forma de la nanopartícula (Palomares 2022, p. 38).

En la tabla 4-6 se presenta el rendimiento experimental de las nanopartículas de óxido de cobre:

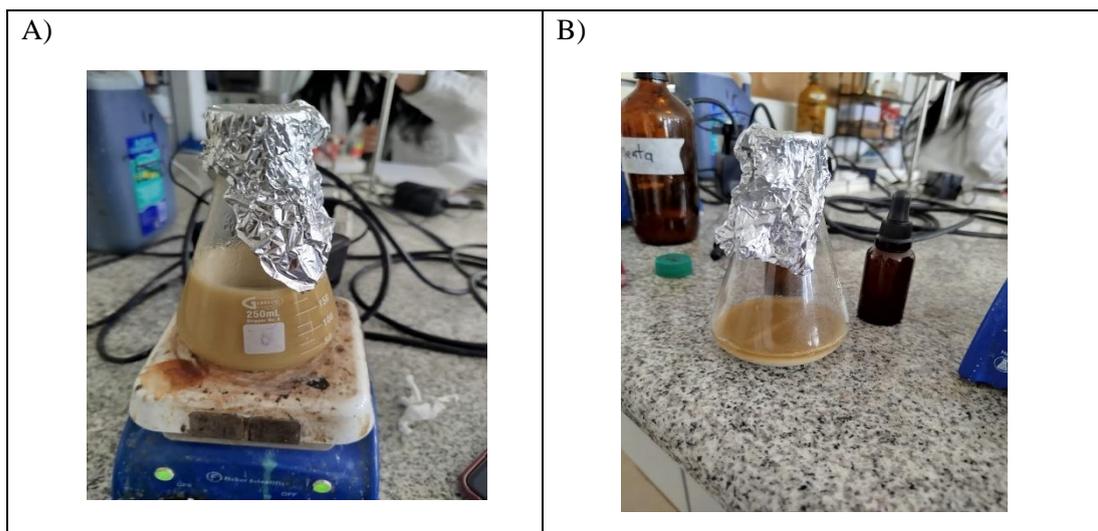
**Tabla 4-6:** Rendimiento de CuONPs

Concentración CuONPs (M)	Peso/Masa obtenida (g)
0.05 M	0.267

Realizado por: Sánchez F., 2024

#### 4.1.3.4. Síntesis verde de nanopartículas de óxido de bismuto

Las nanopartículas de óxido de bismuto se sintetizaron disolviendo 2 gramos del ion metálico (nitrato de bismuto) en 10 ml de agua destilada, manteniendo agitación constante a 95°C por un lapso de 15 minutos, luego se agregó 10 ml del agente reductor (extracto de menta) y se mantuvo en agitación por 24 horas, dando como resultado un precipitado marrón claro, como se observa en la ilustración 4-5:



**Ilustración 4-5:** Síntesis de nanopartículas de óxido de bismuto

**Realizado por:** Sánchez F., 2024

Según un estudio sobre “Síntesis y Caracterización de Nanopartículas de Bismuto y Óxido de Bismuto”, menciona que, una vez que se forman aglomerados para luego precipitar por acción de la gravedad, las nanopartículas de óxido de bismuto adquieren una tonalidad marrón. Además, este tipo de nano estructuras se caracterizan por ser ampliamente usadas como agentes inhibidores de microorganismos, debido a que tiene un gran potencial pese a su reducido tamaño (Castañeda 2022).

En la tabla 4-7 se presenta el rendimiento experimental de las nanopartículas de óxido de bismuto:

**Tabla 4-7:** Rendimiento de Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>NPs

Concentración Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> NPs (M)	Peso/Masa obtenida (g)
0.05 M	0.22

**Realizado por:** Sánchez F., 2024

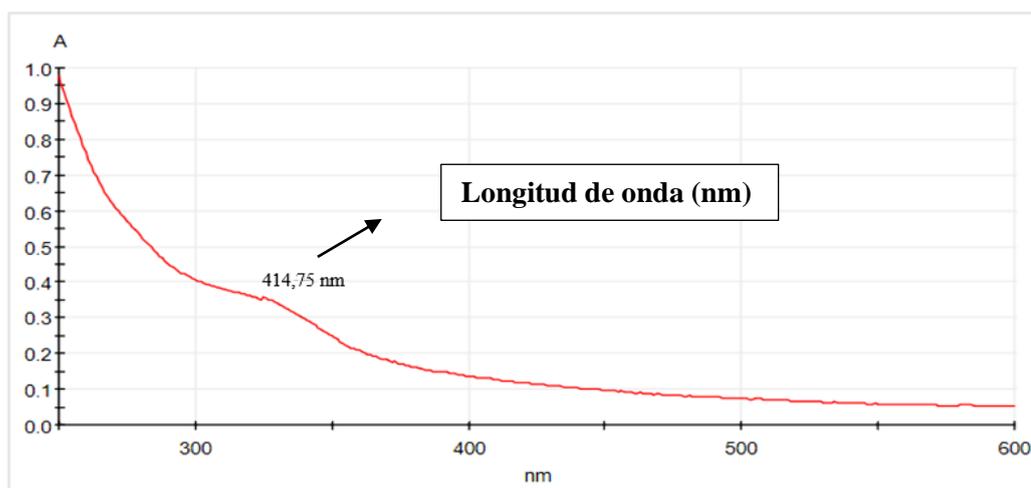
## 4.2. Caracterización de las nanopartículas obtenidas mediante técnicas de UV-VIS, IR y SEM

A continuación, se presenta la caracterización de las nanopartículas de plata, hierro, óxido de cobre y óxido de bismuto:

### 4.2.1. Nanopartículas de plata

#### 4.2.1.1. Espectroscopía UV-VIS

Para evaluar las nanopartículas de plata por la técnica de espectroscopía UV-VIS, se realizó un barrido de la muestra con longitudes de onda de 200-600 nm, obteniendo los resultados presentados en la ilustración 4-6:



**Ilustración 4-6:** Banda UV-VIS de nanopartículas de plata

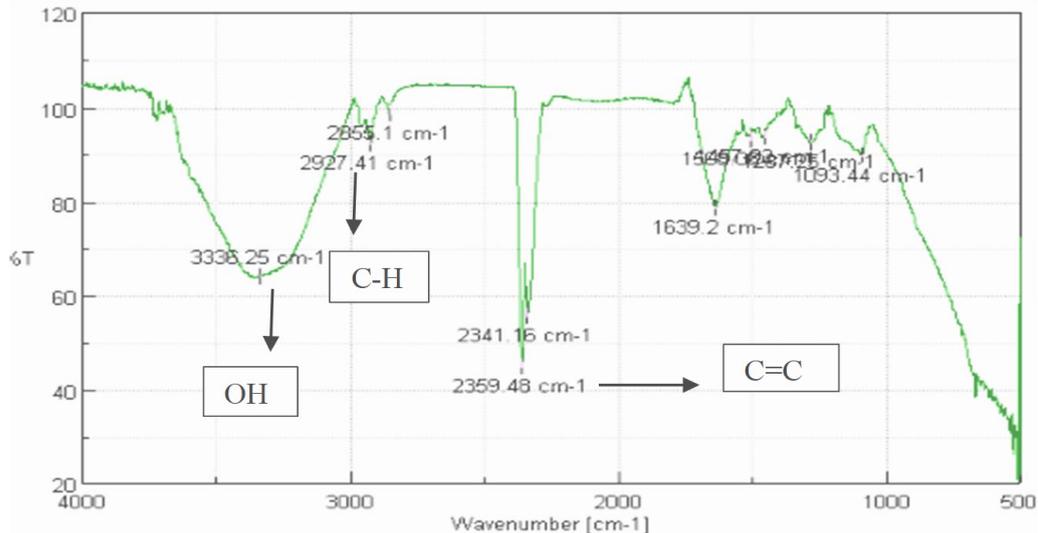
Realizado por: Sánchez F., 2024

Al evaluar el espectro UV-VIS de las nanopartículas de plata se observó un pico definido de 414,75 nm. Es importante considerar que, un valor más alto de longitud de onda indica que la nanopartícula presenta un mayor tamaño (Martí 2020, p. 45).

En Ecuador, un estudio sobre “Síntesis verde de nanopartículas de plata como agente bactericida para el tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico”, determinó que, para evidenciar la presencia de nanopartículas de plata se debe observar en el espectro picos con longitudes de onda entre 380-480 nm, además, es un indicativo del tamaño de las nanopartículas (15-35 nm aproximadamente), lo que coincide con los resultados obtenidos en este estudio (Moreno et al. 2022, p.1340).

#### 4.2.1.2. Espectroscopía infrarroja (FT-IR)

Se evaluaron las nanopartículas de plata con una concentración de 0,05M por espectroscopía infrarroja, obteniendo los resultados presentados a continuación en la ilustración 4-7:



**Ilustración 4-7:** Espectroscopía infrarroja de nanopartículas de Ag

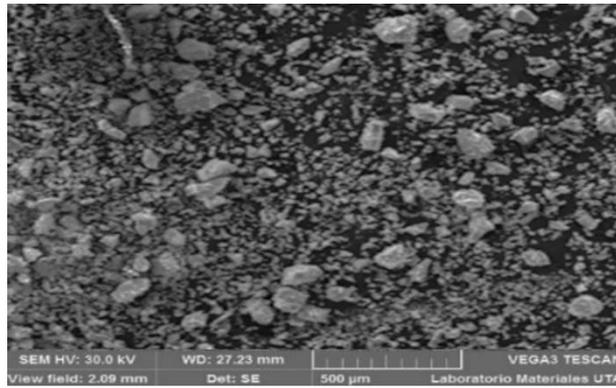
Realizado por: Sánchez F., 2024

Se evaluó las nanopartículas de plata mediante esta técnica, evidenciando diferentes picos de absorción como  $3336,25\text{ cm}^{-1}$  que es la región donde se encuentran los enlaces de estiramiento (O-H, N-H y C-H), además, los grupos O-H representan a los compuestos fenólicos presentes en el extracto vegetal. Otro pico prominente fue de  $2359,48\text{ cm}^{-1}$  que indica el estiramiento del enlace C=C perteneciente a los alquenos (Guzmán 2021, p. 68)

En México, un estudio sobre “Caracterización de nanopartículas de plata sintetizadas por vía verde”, menciona que, la espectroscopía infrarroja permite obtener una huella digital de la muestra, por lo que al evaluar las nanopartículas de plata observaron los picos característicos de flexión simétrica (R-O-H) a  $3200\text{-}3400\text{ cm}^{-1}$ , vibraciones de flexión (C-H), flexión del enlace O-H y los correspondientes a los grupos C-C=C y C=O que van de  $1450\text{-}1750\text{ cm}^{-1}$  (Pérez et al. 2021, p. 17).

#### 4.2.1.3. Microscopía electrónica de barrido

Las nanopartículas de plata sintetizadas a 0.5 M tienen un tamaño promedio de 17-40 nm, como se indica en la ilustración 4-8:



**Ilustración 4-8:** SEM de nanopartículas de Ag

Realizado por: Sánchez F., 2024

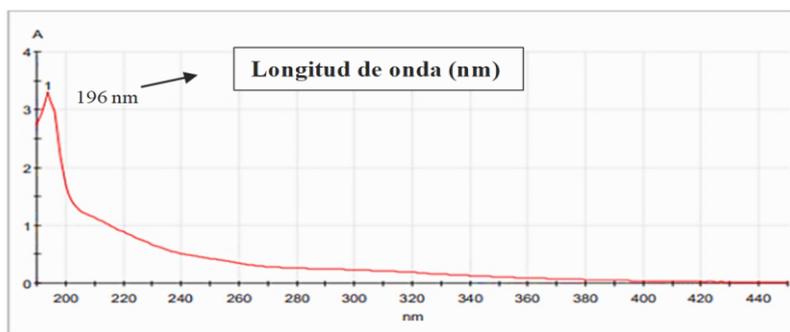
Al analizar las nanopartículas al microscopio electrónico de barrido (SEM) para determinar sus características morfológicas, se evidenció que presentaban forma irregular y sin agregaciones. Además, este tipo de nanopartículas poseen tamaños poco homogéneos y una geometría esférica (Moreno 2021, p. 61).

En Ecuador, una investigación acerca de la “Elaboración de nanopartículas de plata sintetizadas a partir del extracto de hojas de romero (*Rosmarinus officinalis L.*) y su uso como conservante”, al analizar las nanopartículas mediante SEM, determinó puntos blancos redondos y brillantes, además, menciona que la forma de las AgNPs es indispensable para la actividad antimicrobiana, ya que las nanopartículas de triángulo truncado suelen ser mayormente efectivas que las alargadas y esféricas (Pardo y Arias 2020, p. 9).

#### 4.2.2. *Nanopartículas de hierro*

##### 4.2.2.1. *Espectroscopía UV-VIS*

Se evaluaron las nanopartículas de hierro mediante espectroscopía UV-VIS, realizando un barrido de la muestra con longitudes de onda de 200-440 nm, obteniendo los resultados presentados en la ilustración 4-9:



**Ilustración 4-9:** Banda UV-VIS de nanopartículas de hierro

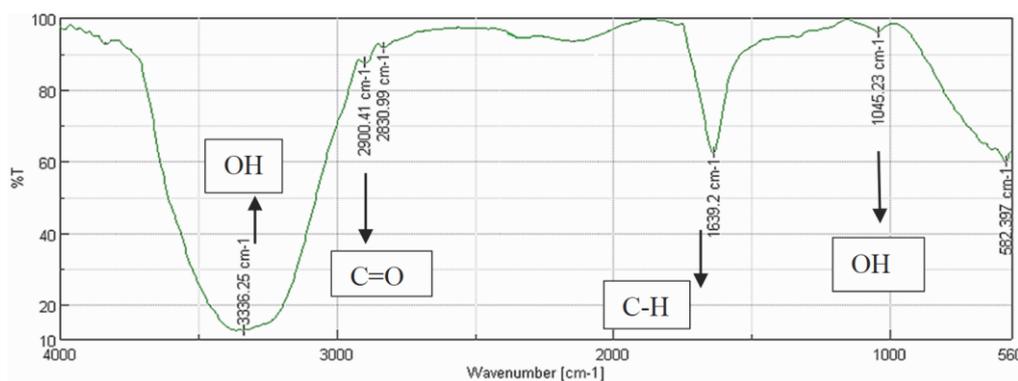
Realizado por: Sánchez F., 2024

Al analizar el espectro UV-VIS de las nanopartículas de hierro, se observó un pico alto y definido a una longitud de onda de 196 nm.

En Perú, se realizó un análisis sobre “Síntesis, caracterización y aplicación de nanopartículas de hierro, en la remoción de HTPs en suelos y aguas de la provincia de Francisco de Orellana–Ecuador”, al evaluar las nanopartículas por espectroscopía UV-VIS determinó la mayor absorbancia desde 196-397 nm, destacando el pico de aproximadamente 198,5 nm, lo que evidenció la presencia de nanopartículas de hierro, coincidiendo con los resultados obtenidos en este estudio. También se analizaron los espectros a diferentes tiempos con el fin de determinar la estabilidad de las nanopartículas, ya que a medida que transcurre el tiempo se reduce la absorbancia (Murgueitio 2020).

#### 4.2.2.2. Espectroscopía infrarroja (FT-IR)

Se evaluaron las nanopartículas de hierro con una concentración de 0,05M por espectroscopía infrarroja, obteniendo los resultados presentados a continuación en la ilustración 4-10:



**Ilustración 4-10:** Espectroscopía infrarrojo de nanopartículas de Fe

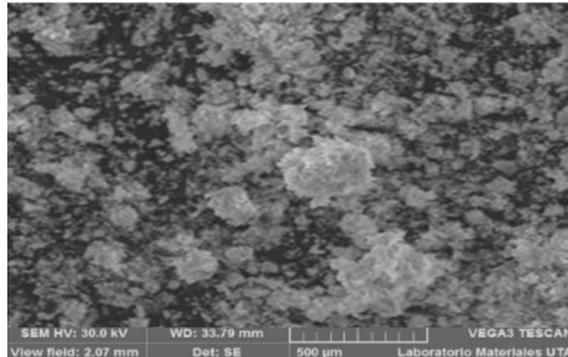
Realizado por: Sánchez F., 2024

Se analizó las nanopartículas de hierro por espectroscopía infrarroja, evidenciando diferentes picos de absorción como  $3336,25\text{ cm}^{-1}$  que es la región donde se encuentran los enlaces de estiramiento (O-H y N-H) y otro pico prominente fue a  $1639,2\text{ cm}^{-1}$  que indica el estiramiento del enlace C-H (Guzmán 2021)

En Ecuador, se llevó a cabo un estudio sobre “Síntesis y caracterización de nanopartículas de hierro”, donde se analizaron las nanopartículas mediante espectroscopía infrarroja, determinando bandas representativas de los grupos funcionales que las caracterizan, como por ejemplo:  $3350\text{ cm}^{-1}$  que corresponde a grupos hidroxilo y  $1625\text{ cm}^{-1}$  a enlaces simples de tipo C-H, coincidiendo con los resultados obtenidos en este estudio (Vera 2020, p. 51).

#### *4.2.2.3. Microscopía electrónica de barrido*

Las nanopartículas de hierro sintetizadas a 0.5 M fueron analizadas por SEM a 500X, como se indica en la ilustración 4-11:



**Ilustración 4-11:** SEM de nanopartículas de Fe.

Realizado por: Sánchez F., 2024

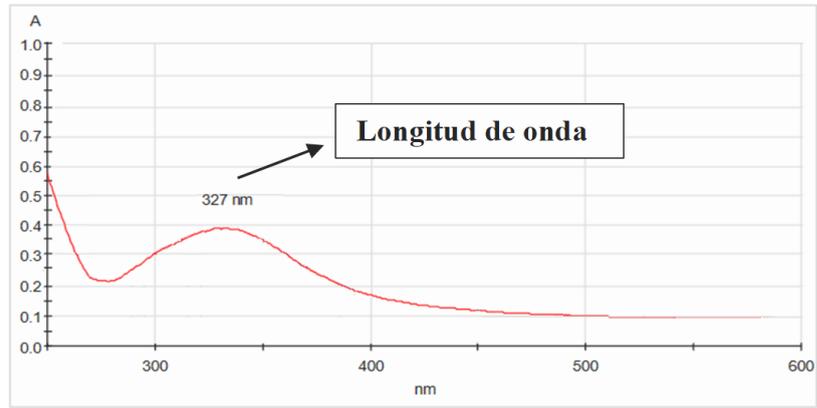
Al observar las nanopartículas de hierro al microscopio electrónico de barrido, se visualizaron formas esferoides e irregulares, con un tamaño promedio de 90nm.

En Venezuela, una investigación sobre “Síntesis verde de nanopartículas de hierro cero valente para la remoción de cadmio, cromo y arsénico en solución”, al evaluar las nanopartículas mediante SEM, determinó estructuras heterogéneas tanto ovaladas como esféricas, que forman agregados y muestran un diámetro aproximado de  $90\pm 40$  nm (Ferro 2020).

#### *4.2.3. Nanopartículas de óxido de cobre*

##### *4.2.3.1. Espectroscopía UV-VIS*

Para evaluar las nanopartículas de óxido de cobre por la técnica de espectroscopía UV-VIS, se realizó un barrido de la muestra con longitudes de onda de 250-600 nm, obteniendo los resultados presentados en la ilustración 4-12:



**Ilustración 4-12:** Banda UV-VIS de nanopartículas de óxido de cobre

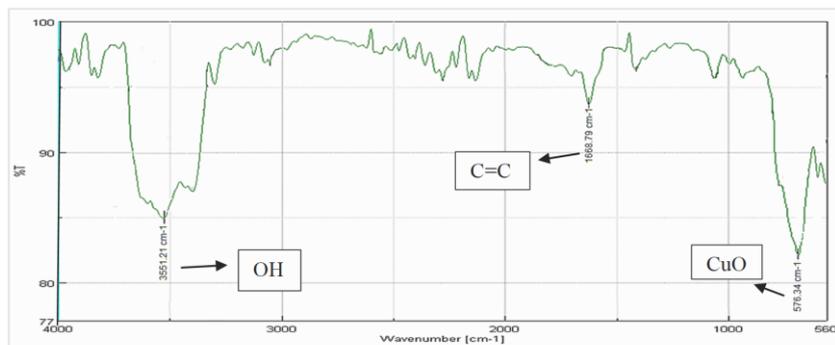
Realizado por: Sánchez F., 2024

Al evaluar el espectro UV-VIS de estas nanopartículas se observó un pico acampanado y definido de 327 nm.

De acuerdo a un estudio sobre “Evaluación de los parámetros Físico-químicos fundamentales para la obtención de nanopartículas de óxido de cobre utilizando *Physalis peruviana*”, las nanopartículas de óxido de cobre suelen presentar su máxima absorción dentro del rango 500-700 nm, sin embargo, se ha evidenciado que en ciertos estudios de síntesis verde de nanopartículas de CuO se presentó la resonancia de plasmón superficial de 250-300 nm, indicando que se trataban de nanopartículas de menor tamaño, lo cual, concuerda con los resultados obtenidos en este estudio (Pumacota 2019, p. 61).

#### 4.2.3.2. Espectroscopía infrarroja (FT-IR)

Se evaluaron las nanopartículas de óxido de cobre con una concentración de 0,5M por espectroscopía infrarroja, obteniendo los resultados presentados a continuación en la ilustración 4-13.



**Ilustración 4-13:** Espectroscopía infrarroja de nanopartículas de CuO

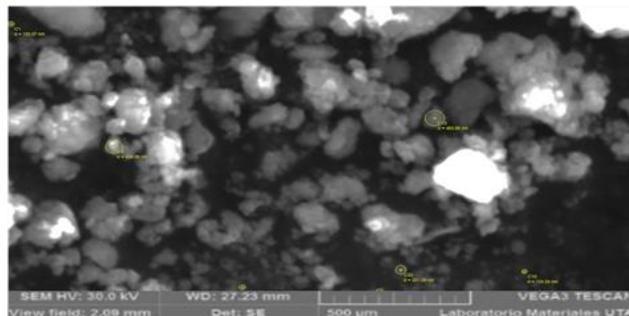
Realizado por: Sánchez F., 2024

Al evaluar las nanopartículas mediante esta técnica, se evidenciaron diferentes picos de absorción como  $3551.21\text{ cm}^{-1}$  que hace referencia a los grupos OH de los compuestos fenólicos,  $1668.79\text{ cm}^{-1}$  indica el estiramiento de C=C perteneciente a los alquenos y el tercer pico más prominente fue de  $576.34\text{ cm}^{-1}$  que pertenece a la región de huella digital (Guzmán 2021).

Según un estudio sobre “Síntesis y caracterización de nanopartículas de cobre y óxido de cobre y su incorporación en una matriz polimérica y el estudio de sus propiedades antibacterianas”, determinó que, los principales grupos funcionales que destacan en este tipo de nanopartículas son O-H, C-H presentes en bandas de  $4000\text{-}2500\text{ cm}^{-1}$ , C=C, C=O en longitudes de onda de  $2000\text{-}1500\text{ cm}^{-1}$ . Es importante considerar que, los metabolitos secundarios de los extractos vegetales que se usan en síntesis verde se unen al cobre mediante los oxígenos, a través de enlaces covalentes (Reyes 2021, p.35).

#### 4.2.3.3. Microscopía electrónica de barrido

Las nanopartículas de óxido de cobre con una concentración de 0.5 M fueron analizadas por SEM a 500X, como se indica en la ilustración 4-14:



**Ilustración 4-14:** SEM de nanopartículas de óxido de cobre

**Realizado por:** Sánchez F., 2024

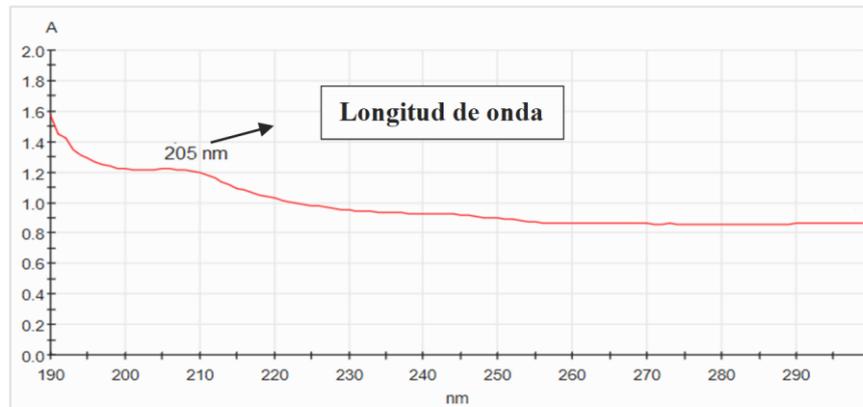
Al observar las nanopartículas de óxido de cobre al microscopio electrónico de barrido, se visualizaron formas irregulares, con un tamaño promedio de 35 nm.

En Colombia, un estudio sobre “Nanopartículas de óxido de cobre: síntesis, caracterización y estudio preliminar de su capacidad de remoción de azul de metileno en solución acuosa”, al analizar las micrografías obtenidas por SEM, se visualizaron nanopartículas de tamaño uniforme, bordes irregulares y su tamaño es  $< 100\text{ nm}$  (Cuarán 2022, p. 51).

#### 4.2.4. Nanopartículas de óxido de bismuto

##### 4.2.4.1. Espectroscopía UV-VIS

Para evaluar las nanopartículas de óxido de bismuto por espectroscopía UV-VIS, se realizó un barrido de la muestra con longitudes de onda de 100-340 nm, obteniendo los resultados presentados en la ilustración 4-15:



**Ilustración 4-15:** Banda UV-VIS de nanopartículas de óxido de bismuto

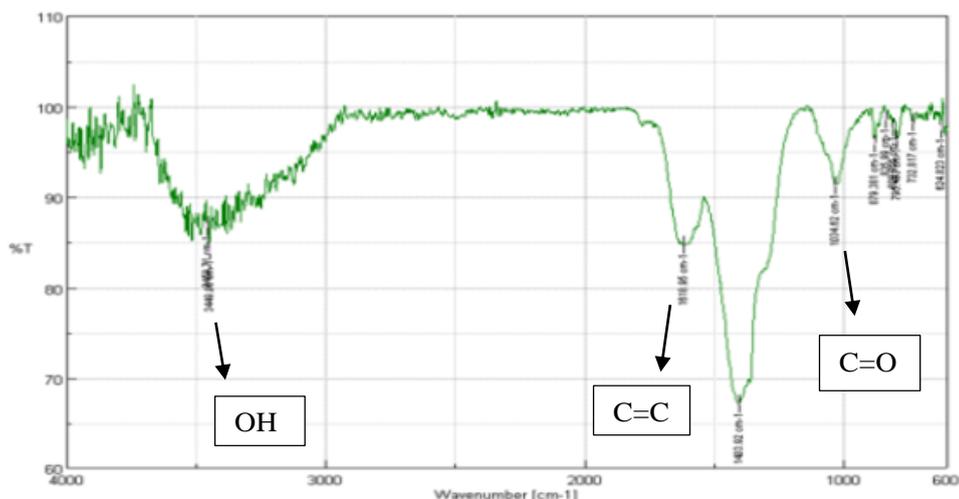
Realizado por: Sánchez F., 2024

Al evaluar el espectro UV-VIS de estas nanopartículas se observó un pico acampanado y definido a 205, nm.

En México, de acuerdo a un estudio sobre “Síntesis y Caracterización de Nanopartículas de Bismuto y Óxido de Bismuto”, determinó que, la técnica de UV-VIS permite comprobar la identidad del compuesto que se buscaba sintetizar, por lo que las nanopartículas de óxido de bismuto deben presentar su pico de absorbancia entre 180-220 nm y una absorbancia de 1,65-1,70 (Castañeda 2022).

##### 4.2.4.2. Espectroscopía infrarroja (FT-IR)

Se realizó el análisis de las nanopartículas de óxido de bismuto con una concentración de 0,5M por espectroscopía infrarroja, obteniendo los resultados presentados en la ilustración 4-16:



**Ilustración 4-16:** Espectroscopía infrarrojo de nanopartículas de Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

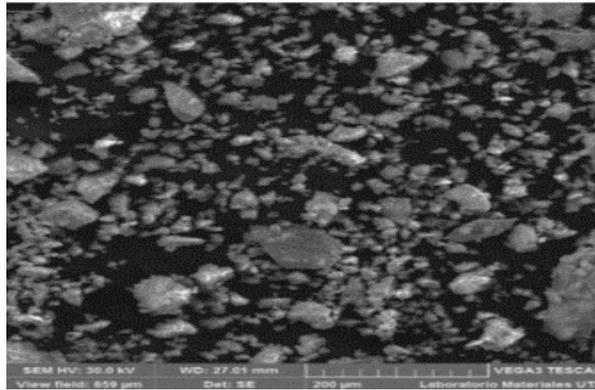
Realizado por: Sánchez F., 2024

Al evaluar este tipo de nanopartículas mediante esta técnica, se evidenció diferentes picos de absorción como  $3411.29\text{ cm}^{-1}$  que hace referencia a los grupos OH de los compuestos fenólicos y  $1402.05\text{ cm}^{-1}$  que es un indicativo del estiramiento de enlace C=C característico de los alquenos, además, se observaron picos menos prominentes en la región de huella digital (Guzmán 2021).

Según un estudio sobre “Evaluación de la factibilidad del uso de nanopartículas de óxido de bismuto como bactericida en muestras de aguas servidas en la comunidad San Vicente de Lacas, provincia de Chimborazo”, al analizar las nanopartículas de óxido de bismuto evidenció que, el pico más prevalente fue  $1403.2\text{ cm}^{-1}$  y para confirmar este compuesto, debe presentar el mayor pico de absorción entre  $1000\text{-}1800\text{ cm}^{-1}$ , lo que concuerda con los resultados obtenidos en este estudio (Álvarez 2021, p. 39).

#### 4.2.4.3. Microscopía electrónica de barrido

Las nanopartículas de óxido de bismuto con concentración de 0.5 M fueron analizadas por SEM a 500X, como se indica en la ilustración 4-17:



**Ilustración 4-17:** SEM de nanopartículas de  $\text{Bi}_2\text{O}_3$

**Realizado por:** Sánchez F., 2024

Se analizaron este tipo de nanopartículas al SEM, evidenciando que tenían una forma plana e irregular, con un tamaño que oscilaba entre 7-93 nm.

En México, se llevó a cabo un estudio sobre “Síntesis y caracterización de nanotubos monocapa, nanotubos multicapa y nanopartículas de óxido de bismuto obtenidas mediante irradiación de microondas”, donde se caracterizó las nanopartículas por SEM, determinando que, tienen una forma alargada, de modo que se visualizan como una especie de fibras, con un tamaño inferior a los 100 nm (Osorio 2021, p. 90).

#### **4.3. Aplicación de las nanopartículas en un prototipo modelo para el tratamiento de aguas de río**

El prototipo modelo para el tratamiento de agua de río fue realizado en la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, como se indica a continuación:

#### 4.3.1. Construcción del prototipo

Inicialmente para diseñar el prototipo de pruebas, se realizó la construcción de la estructura que sirvió de soporte el tanque elevado de almacenamiento de agua de aproximadamente 40 litros, con una altura de 2 metros, a su vez se incorporó una bomba de agua para poder elevar el agua desde el tanque de reserva hasta el tanque de almacenamiento.

Con el objetivo de poder conservar un caudal apropiado para el tratamiento de agua se conectó a un sistema eléctrico en el cual ayudaba a detectar que el nivel de agua que se estaba utilizando era la más apropiada, a su vez se utilizó un filtro central y 3 cartuchos para poder analizar las diferentes concentraciones de nanopartículas que se podía utilizar en el prototipo (ilustración 4-18).



**Ilustración 4-18:** Construcción del prototipo de pruebas

**Realizado por:** Sanchez F., Granda B., Chica H Chica H, 2024

#### 4.3.2. Recolección de muestras de agua

Para poner a prueba el prototipo con las diferentes combinaciones de nanopartículas de plata, óxido de cobre, hierro y óxido de bismuto, se realizó la recolección de las muestras de agua directamente en 2 puntos del río Chibunga (ilustración 4-19).



**Ilustración 4-19:** Recolección de muestras de agua del rio Chibunga

Realizado por: Sánchez F., 2024

#### **4.3.3. Preparación de los cartuchos del prototipo**

Para el diseño del prototipo se colocaron tres cartuchos, donde el primero y último contenían carbón activado en diferentes capas, mientras que el filtro central tenía la concentración de las diferentes combinaciones de las nanopartículas.

Inicialmente se colocó una capa de carbón activado con la malla más gruesa, luego una segunda capa con la malla intermedia hasta la mitad de lo establecido y se insertó una esponja donde se vertió la concentración de las diferentes nanopartículas. Luego se puso la otra mitad de la capa central de carbón activado y finalmente, la última capa con la malla más fina como se indica en la ilustración 4-20.



**Ilustración 4-20:** Colocación de carbón activado y nanopartículas

Realizado por: Sánchez F., 2024

Se utilizaron tres concentraciones diferentes en las nanopartículas (0,05, 1 y 1,5 mol/L), además, se varió el volumen del extracto (10 ml en nanopartículas de óxido de cobre y plata y 20 ml en

nanopartículas de hierro y óxido de bismuto), como se muestra en la tabla 4-8, 4-9, 4-10 y 4-11.

**Tabla 4-8:** Concentración de nanopartículas de óxido de cobre

Parámetros	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Concentración de nanopartículas [mol /L]	0,05	1	1.5
Volúmen del extracto (ml)	10	10	10
Volumen de la sal (ml)	40	40	40

Realizado por: Sánchez F., 2024

**Tabla 4-9:** Concentración de nanopartículas de plata

Parámetros	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Concentración de nanopartículas [mol /L]	0,05	1	1.5
Volumen del extracto (ml)	10	10	10
Volumen de la sal (ml)	40	40	40

Realizado por: Sánchez F., 2023

**Tabla 4-10:** Concentración de nanopartículas de hierro

Parámetros	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Concentración de nanopartículas [mol /L]	0,05	1	1.5
Volumen del extracto (ml)	20	20	20
Volumen de la sal (ml)	40	40	40

Realizado por: Sánchez F., 2024

**Tabla 4-11:** Concentración de nanopartículas de óxido de bismuto

Parámetros	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Concentración de nanopartículas [mol /L]	0,05	1	1.5
Volumen del extracto (ml)	20	20	20
Volumen de la sal (ml)	40	40	40

Realizado por: Sánchez F., 2024

#### 4.3.4. Toma de muestras después del tratamiento

Una vez finalizado el tratamiento de agua, se procedió a tomar una muestra para realizar el posterior análisis físico químico y microbiológico:



**Ilustración 4-21:** Toma de muestras de agua tratada

Realizado por: Sánchez F., 2024

#### 4.3.5. *Análisis de muestras de agua tratadas antes y después del tratamiento*

Se realizó el análisis de parámetros físico químicos en las muestras de agua, obteniendo los resultados presentados a continuación:

**Tabla 4-12:** Calidad de agua en muestra sin tratamiento

Parámetro	Unidades	Normativa	Valor de la muestra	Observación
Ph	-	6 – 9	6,7	Cumple
Conductividad	mS	< 3	1,118	Cumple
Sólidos disueltos	mg/l	< 2 000	659,7	Cumple
Color	PtCo	< 250	345	No cumple
Turbidez	NTU	< 300	26,7	Cumple
Dureza	mg/l	< 307	260	Cumple
Calcio	mg/l	< 20	52,4	No cumple
Magnesio	mg/l	< 60	32,122	Cumple
Alcalinidad	mg/l	< 90	320,8	No cumple
Cloruros	meq/l	< 10	3,7	Cumple
Nitratos	mg/l	< 30	22	Cumple
Fosfatos	mg/l	< 2	20	No cumple

Realizado por: Sánchez F., 2024

Como se indica en la tabla 4-12, al realizar la caracterización de la muestra de agua que no fue tratada con el prototipo, se evidenció que, ciertos parámetros se encontraron dentro del rango de cumplimiento según la normativa, no obstante, aspectos como el color, calcio, alcalinidad y los fosfatos presentaron valores superiores a los permitidos.

A continuación, se muestran los resultados del tratamiento de agua al pasar el primer filtro, que contenía únicamente carbón activado.

**Tabla 4-13: Resultados del primer filtro con carbón activado**

Parametro	Unidades	Normativa	Valor de la muestra	Observaciones
Ph	-	6-9	6,8	Cumple
Conductividad	mS	<3	1,090	Cumple
Sólidos disueltos	Mg/l	<2000	611.5	Cumple
Color	PrCo	<250	160	Cumple
Turbidez	NTU	<300	9	Cumple
Dureza	mg/l	<307	264	Cumple
Calcio	mg/l	<20	48	No Cumple
Magnesio	mg/l	<60	34,991	Cumple
Alcalinidad	mg/l	<90	385,4	No Cumple
Cloruros	meq/l	<10	3,5	Cumple
Nitratos	mg/l	<30	4,2	Cumple
Fosfatos	mg/l	<2	13,53	No Cumple

Realizado por: Sánchez F., 2024

Como se indica en la tabla 4-13, al evaluar la calidad del agua que fue tratada únicamente con carbón activado, se evidenció que, el calcio, la alcalinidad y los fosfatos estuvieron fuera de los límites permitidos según la normativa TULSMA.

**Tabla 4-14: Segundo filtro con la primera concentración de nanopartículas**

Parametro	Unidades	Normativa	Nanopartículas			
			Óxido de cobre	Plata	Hierro	Óxido de bismuto
pH	-	6-9	7,80	6,88	8.6	6.6
Conductividad	mS	<3	1,785	1,654	1.567	1.689
Sólidos disueltos	Mg/l	<2000	97,95	88,76	56.34	90.61
Color	PtCo	<250	159	230	148	190
Turbidez	NTU	<300	17.1	18.5	69.4	97.2
Dureza	mg/l	<307	240	265	286	254
Calcio	mg/l	<20	60	70	56.0	40
Magnesio	mg/l	<60	33,934	40,833	50,651	36,123
Alcalinidad	mg/l	<90	440.7	450.3	712,3	78,34
Cloruros	meq/l	<10	7.1	2.5	9.0	5.9
Nitratos	mg/l	<30	7.0	5.7	8,5	9,7
Fosfatos	mg/l	<2	14,17	10.9	1.4	1,6

Realizado por: Sánchez F., 2024

Como se indica en la tabla 4-14, al realizar el análisis del agua tratada con las primeras concentraciones de nanopartículas (0,05 mol/L), se evidenció que, en el caso de las muestras que contenían nanopartículas de óxido de bismuto, se cumplió en gran medida con los criterios de calidad, a excepción del calcio ya que se obtuvo 75 mg/L.

En España, se realizó una investigación sobre “Determinación de calcio y magnesio en aguas”, donde menciona que, el calcio está relacionado con la dureza del agua y en el caso de las fuentes naturales, este parámetro es elevado. El agua dura puede llegar a dejar depósitos en las tuberías llegando incluso a destruirlas, por otro lado, su uso en las actividades agrícolas es importante ya que la dureza del agua aumenta la permeabilidad del suelo (Harris 2020, p. 1).

**Tabla 4-15:** Resultados con la segunda concentración de nanopartículas

Parámetro	Unidades	Normativa	Nanopartículas			
			Óxido de cobre	Plata	Hierro	Óxido de bismuto
pH	-	6-9	8,33	6,88	7.45	7.0
Conductividad	mS	<3	2.060	1,654	1,267	2.025
Sólidos disueltos	Mg/l	<2000	1,133	88,76	1.478	1,521
Color	PtCo	<250	305	230	210	301
Turbidez	NTU	<300	12,45	18.5	22,7	11,58
Dureza	mg/l	<307	225	265	216	195
Calcio	mg/l	<20	67.1	50.6	43.6	30
Magnesio	mg/l	<60	45,176	40,833	21,365	55.239
Alcalinidad	mg/l	<90	460.3	450.3	451,67	45,82
Cloruros	meq/l	<10	8.1	2.5	8.5	7.4
Nitratos	mg/l	<30	4,9	5.7	5.7	14.8
Fosfatos	mg/l	<2	22.0	10.9	15,3	1.2

Realizado por: Sánchez F., 2024

En la tabla 4-15, se presentan los resultados de las muestras de agua tratadas con las segundas concentraciones de las nanopartículas (1 mol/L), evidenciando que, el agua tratada con óxido de bismuto se ajustó en mayor medida a la normativa de calidad, a excepción de los parámetros del color (301 PtCo) y el calcio, ya que se obtuvo de igual forma 75 mg/L.

Un estudio sobre “Validación de un método para el análisis de color real en agua”, determinó que, una de las propiedades organolépticas más importantes es el análisis del color, ya que se puede ver afectado por la presencia de material disuelto, coloidal o suspendido, es decir, el agua no debería presentar coloración porque es un signo de contaminación con alguna partícula extraña (Martínez et al 2018, p. 144).

**Tabla 4-16:** Resultados con la tercera concentración de nanopartículas

Parametro	Unidades	Normativa	Nanopartículas			
			Óxido de cobre	Plata	Hierro	Óxido de bismuto
pH	-	6-9	7.9	6.6	7.5	7.5
Conductividad	mS	<3	3,416	4.567	2.672	4.121
Sólidos disueltos	Mg/l	<2000	1,890	1.556	1,234	1,772
Color	PtCo	<250	420	450	568	422
Turbidez	NTU	<300	8	134,6	7.0	25,6
Dureza	mg/l	<307	265	290	390	290
Calcio	mg/l	<20	60.5	37,1	78	83
Magnesio	mg/l	<60	45,176	33.458	22.673	22,843
Alcalinidad	mg/l	<90	478,5	789.0	45.0	782.3
Cloruros	meq/l	<10	7.2	6.7	8.3	6.4
Nitratos	mg/l	<30	6.6	9.2	23,8	5.8
Fosfatos	mg/l	<2	25,3	11,4	3.0	15.4

Realizado por: Sánchez F., 2024

En la tabla 4-16, se presentan los resultados de las muestras de agua tratadas con la tercera concentración de las nanopartículas (2 mol/L), evidenciando que, en todos los casos hubo parámetros que no se ajustaron a la normativa, lo que indica que una concentración de nanopartículas más elevada es la menos favorable para el tratamiento de agua. Llegando a la conclusión que no hace falta de una mayor concentración de las nanopartículas para volver más eficaz el sistema de tratamiento.

Según la normativa TULSMA, es importante realizar un análisis de las propiedades físicas, químicas o biológicas de los diferentes tipos de agua, ya que cualquier alteración, puede ocasionar un deterioro de la misma, perjudicando su humano a nivel domiciliario, agropecuario, comercial, industrial, recreativo, entre otros (Ministerio del Ambiente 2015, p. 3).

#### *4.3.5.1. Resultados del análisis de la mezcla de diferentes combinaciones de nanopartículas en el prototipo*

Para comprobar si las nanopartículas tuvieron un efecto en la evaluación fisicoquímica del agua, se realizaron diferentes combinaciones de nanopartículas, como se indica a continuación:

##### *- Combinación de nanopartículas de hierro y óxido de bismuto*

Se realizó la combinación de nanopartículas de hierro y óxido de bismuto, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 4-17:** Concentraciones de las nanopartículas

Parámetros	Concentración		
	1	2	3
Concentración de nanopartículas [mol /L]	0,05	1	1.5
Volumen del extracto (ml)	10	20	20
Volumen de la sal (ml)	40	40	50

Realizado por: Sánchez F., 2024

En la tabla 4-17, se presenta la variación de las concentraciones de nanopartículas de hierro y óxido bismuto, determinando que, para la primera se mantuvo constante el volumen del extracto y la sal, en la segunda se varió el volumen del extracto y en el caso de la tercera concentración, de igual forma, varió el volumen del extracto y la sal.

**Tabla 4-18:** Combinación de nanopartículas de hierro y óxido de bismuto

Parámetro	Unidades	Normativa	Nanopartículas de Hierro y Óxido de Bismuto		
			1	2	3
pH	-	6-9	7.5	7.0	7.5
Conductividad	mS	<3	1.380	2,021	4,313
Sólidos disueltos	Mg/l	<2000	88.37	2,432	1,665
Color	PtCo	<250	165	345	462
Turbidez	NTU	<300	80.6	55,27	72,1
Dureza	mg/l	<307	290	280	285
Calcio	mg/l	<20	30	80	90
Magnesio	mg/l	<60	40,51	40,51	30,123
Alcalinidad	mg/l	<90	40.3	50,31	813,0
Cloruros	meq/l	<10	7,9	9.0	5,0
Nitratos	mg/l	<30	15,7	22,6	17,2
Fosfatos	mg/l	<2	1,0	16,0	20,0

Realizado por: Sánchez F., 2024

Como se indica en la tabla 4-18, al evaluar los parámetros físico químico de agua tratada con la combinación de nanopartículas de hierro y óxido de bismuto, se evidenció que los resultados de la primera concentración (0,05 mol/L) se ajustaron en mayor medida a la normativa TULSMA, sin embargo, el calcio y la alcalinidad presentaron valores que superaron el límite permitido.

De acuerdo a un estudio sobre “Alcalinidad del agua y su efecto en los sustratos”, menciona que, la alcalinidad es un parámetro que depende del contenido de bicarbonatos y carbonatos de calcio y magnesio que son comunes en aguas de río y subterráneas, sin embargo, si se presentan valores muy elevados en este parámetro puede ser perjudicial para actividades como el regadío (Torres et al.

2020, p. 3).

- *Combinación de nanopartículas de óxido de cobre y plata*

Se realizó la combinación de nanopartículas de óxido de cobre y plata, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 4-19:** Concentraciones de las nanopartículas

Parámetros	Concentración		
	1	2	3
Concentración de nanopartículas [mol /L]	0,05	0,25	1
Volumen del extracto (ml)	10	20	10
Volumen de la sal (ml)	40	40	40

Realizado por: Sánchez F., 2024

En la tabla 4-19, se presenta la variación de las concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre y plata, determinando que, para la primera se mantuvo constante el volumen del extracto y la sal, en la segunda y tercera concentración se varió la concentración de la nanopartícula y el volumen del extracto.

**Tabla 4-20:** Combinación de nanopartículas de óxido de cobre y plata

Parámetro	Unidades	Normativa	Nanopartículas de óxido de cobre y plata		
			1	2	3
pH	-	6-9	7,2	7,9	6,5
Conductividad	mS	<3	1,812	2,032	4,237
Sólidos disueltos	Mg/l	<2000	45,20	1,136	1,651
Color	PtCo	<250	180	412	470
Turbidez	NTU	<300	123,0	30,2	123,2
Dureza	mg/l	<307	242	255	280
Calcio	mg/l	<20	40	80,1	90,3
Magnesio	mg/l	<60	40,360	40,315	47,112
Alcalinidad	mg/l	<90	450,1	620,4	514,7
Cloruros	meq/l	<10	6,4	8,3	5,8
Nitratos	mg/l	<30	17,2	4,3	10,9
Fosfatos	mg/l	<2	11,5	30,0	22,8

Realizado por: Sánchez F., 2024

En la tabla 4-20, se presentan los resultados del análisis de parámetros físico químico del agua tratada con la combinación de nanopartículas de óxido de cobre y plata, evidenciando que, la

primera concentración (0,05 mol /L) fue la que se ajustó en mayor medida a la normativa de calidad, sin embargo, el calcio, la alcalinidad y los fosfatos superaron los límites permitidos. En una investigación sobre “Determinación de fosfatos en agua por espectrofotometría”, menciona que, una gran cantidad de fosfatos en agua se debe a que los abonos inorgánicos tienen fosfatos solubles y por arrastre del agua pueden llegar con facilidad a los ríos, por lo que es normal encontrarlos a una concentración menor a 1mg/L, pero si sobrepasa este valor puede llegar a causar daño a las especies vegetales y animales del agua (Universidad Pablo de Olavide 2020, p. 2).

- *Combinación de nanopartículas de óxido de cobre y óxido de bismuto*

Se realizó la combinación de nanopartículas de óxido de cobre y óxido de bismuto, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 4-21:** Concentraciones de las nanopartículas

Parámetros	Concentración		
	1	2	3
Concentración de nanopartículas [mol /L]	0,05	0,25	1,5
Volumen del extracto (ml)	20	10	10
Volumen de la sal (ml)	40	40	50

Realizado por: Sánchez F., 2024

En la tabla 4-21, se presenta la variación de las concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre y óxido de bismuto, determinando que, para la primera se mantuvo constante el volumen del extracto y la sal, en la segunda y tercera se varió la concentración de la nanopartícula volumen del extracto y de la sal.

**Tabla 4-22:** Combinación de nanopartículas de óxido de cobre y óxido de bismuto

Parámetro	Unidades	Normativa	Nanopartículas de óxido de cobre y óxido de bismuto		
			1	2	3
pH	-	6-9	7,8	7,5	7,9
Conductividad	mS	<3	1,660	2,034	4,256
Sólidos disueltos	Mg/l	<2000	90,50	1,623	1,943
Color	PtCo	<250	150	307	426
Turbidez	NTU	<300	80,0	12,42	25,7
Dureza	mg/l	<307	245	231	278
Calcio	mg/l	<20	60	75,1	70,2
Magnesio	mg/l	<60	34,122	46,213	33,175
Alcalinidad	mg/l	<90	430,1	466,1	473,8

Cloruros	meq/l	<10	6,8	8,5	6,5
Nitratos	mg/l	<30	8,9	15,4	5,9
Fosfatos	mg/l	<2	17,6	22,1	25,9

Realizado por: Sánchez F., 2024

Como se observa en la tabla 4-22, al analizar los parámetros físico químico del agua tratada con una combinación de nanopartículas de óxido de cobre y óxido de bismuto, se evidenció que, la primera concentración (0,05 mol /L) fue la que se ajustó en mayor medida a la normativa de calidad, sin embargo, el calcio, la alcalinidad y los fosfatos superaron los límites permitidos, obteniendo resultados similares a los presentados anteriormente con la combinación de nanopartículas de óxido de cobre y plata.

- *Combinación de nanopartículas de hierro y plata*

Se realizó la combinación de nanopartículas de hierro y plata, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 4-23:** Concentraciones de las nanopartículas

Parámetros	Concentración		
	1	2	3
Concentración de nanopartículas [mol /L]	0,05	0,25	1,5
Volumen del extracto (ml)	20	10	10
Volumen de la sal (ml)	40	40	50

Realizado por: Sánchez F., 2024

En la tabla 4-23, se presenta la variación de las concentraciones de nanopartículas de hierro y plata, determinando que, para la primera se mantuvo constante el volumen del extracto y la sal, en la segunda y tercera concentración se varió la concentración de la nanopartícula, el volumen del extracto y la sal.

**Tabla 4-24:** Combinación de nanopartículas de hierro y plata

Parámetro	Unidades	Normativa	Nanopartículas de hierro y plata		
			1	2	3
pH	-	6-9	8,0	6,3	7,4
Conductividad	mS	<3	1,652	1,362	4,578
Sólidos disueltos	Mg/l	<2000	62,54	3,537	1,467
Color	PtCo	<250	168	220	534
Turbidez	NTU	<300	87,2	19,2	7,56
Dureza	mg/l	<307	285	277	429

Calcio	mg/l	<20	33,0	44,2	50,5
Magnesio	mg/l	<60	50,261	42,653	33,452
Alcalinidad	mg/l	<90	440,1	550	782,4
Cloruros	meq/l	<10	8,5	3,8	7,3
Nitratos	mg/l	<30	5,4	5,9	22,3
Fosfatos	mg/l	<2	10,3	11,8	14,8

Realizado por: Sánchez F., 2024

En tabla 4-24, al analizar los parámetros físico químico del agua tratada con una combinación de nanopartículas de óxido de hierro y plata, se evidenció que, la primera y segunda concentración (0,05 mol /L y 0,25 mol/L respectivamente) fueron la que mejor se ajustaron a la normativa de calidad, sin embargo, los parámetros como el calcio, la alcalinidad y los fosfatos superaron los límites permitidos. Es importante que el valor elevado de la alcalinidad dificulta el uso de este tipo de agua en actividades agrícolas.

- *Combinación de nanopartículas de óxido de cobre, óxido de bismuto y hierro*

Se realizó la combinación de nanopartículas de óxido de cobre, óxido de bismuto y hierro, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 4-25:** Concentraciones de las nanopartículas

Parámetros	Concentración		
	1	2	3
Concentración de nanopartículas [mol /L]	0,05	0,25	1,5
Volumen del extracto (ml)	10	20	10
Volumen de la sal (ml)	40	40	50

Realizado por: Sánchez F., 2024

En la tabla 4-21, se presenta la variación de las concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre, óxido de bismuto y hierro, determinando que, para la primera se mantuvo constante el volumen del extracto y la sal, en la segunda se varió la concentración de la nanopartícula y el volumen del extracto y en la tercera se varió la concentración y el volumen de la sal.

**Tabla 4-26:** Combinación de nanopartículas de óxido de cobre, óxido de bismuto y hierro

Parámetro	Unidades	Normativa	Nanopartículas de óxido de cobre, óxido de bismuto y hierro		
			1	2	3
pH	-	6-9	7,7	7,0	7,5
Conductividad	mS	<3	1,683	1,046	3,672

Sólidos disueltos	Mg/l	<2000	90,45	1,621	1,277
Color	PtCo	<250	160	360	563
Turbidez	NTU	<300	264	264	438
Dureza	mg/l	<307	256	256	252
Calcio	mg/l	<20	53	62	365
Magnesio	mg/l	<60	37,215	37,215	33,457
Alcalinidad	mg/l	<90	106,3	468,3	789,1
Cloruros	meq/l	<10	5,7	5,7	8,1
Nitratos	mg/l	<30	9,8	9,8	7,9
Fosfatos	mg/l	<2	1,4	22,7	15,3

Realizado por: Sánchez F., 2024

Como se indica en la tabla 4-26 se realizó la combinación de tres tipos de nanopartículas (óxido de cobre, óxido de bismuto y hierro) para el tratamiento de agua y al analizar los parámetros fisicoquímicos, se determinó que, la concentración uno (5 mol /L) cumplió en gran medida con las especificaciones de la normativa, excepto el calcio y la alcalinidad. En este caso se obtuvieron resultados similares a la combinación de nanopartículas de óxido de bismuto y hierro, sin embargo, en el tratamiento con las tres nanopartículas se redujo en gran medida la alcalinidad.

- *Combinación de nanopartículas de óxido de cobre, plata, hierro y óxido de bismuto*

Se realizó la combinación de nanopartículas de óxido de cobre, plata, hierro y óxido de bismuto, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 4-27:** Concentraciones de las nanopartículas

Parámetros	Concentración		
	1	2	3
Concentración de nanopartículas [mol /L]	0,05	0,25	1,5
Volumen del extracto (ml)	10	20	10
Volumen de la sal (ml)	40	40	50

Realizado por: Sánchez F., 2024

En la tabla 4-21, se presenta la variación de las concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre, plata, hierro y óxido de bismuto, determinando que, para la primera se mantuvo constante el volumen del extracto y la sal, en la segunda se varió la concentración de la nanopartícula y el volumen del extracto, mientras que, en la tercera concentración hubo una variación de la concentración de la nanopartícula y el volumen de la sal.

**Tabla 4-28:** Combinación de nanopartículas de óxido de cobre, plata, hierro y óxido de bismuto

Parámetro	Unidades	Normativa	Nanopartículas de óxido de cobre, plata, hierro y óxido de bismuto		
			1	2	3
pH	-	6-9	7,6	7,9	7,5
Conductividad	mS	<3	1,633	2,322	4,125
Sólidos disueltos	Mg/l	<2000	1,589	2,132	1,270
Color	PtCo	<250	290	323	567
Turbidez	NTU	<300	60,8	1,568	34,0
Dureza	mg/l	<307	285	280	260
Calcio	mg/l	<20	65	70,5	81,0
Magnesio	mg/l	<60	50,432	54,45	21,324
Alcalinidad	mg/l	<90	452,0	470,2	681,4
Cloruros	meq/l	<10	8,5	5,8	6,9
Nitratos	mg/l	<30	9,4	26,0	9,1
Fosfatos	mg/l	<2	20,0	30,5	56,1

Realizado por: Sánchez F., 2024

Como se observa en la tabla 4-30 se realizó la combinación de los cuatro tipos de nanopartículas para el tratamiento de agua y al analizar los parámetros fisicoquímicos, se determinó que, la concentración uno (5 mol /L) se ajustó mejor a la normativa, sin embargo, aparte del calcio y la alcalinidad que fueron parámetros que no se cumplió anteriormente, al realizar esta combinación se obtuvo un valor elevado de fosfatos, lo que indica que no es la mejor opción para el tratamiento del agua.

#### 4.3.6. *Análisis microbiológico de las muestras de agua tratadas en el prototipo modelo de tratamiento*

A continuación, se presenta el análisis de coliformes totales y fecales identificadas en las muestras de agua que fueron previamente tratadas con nanopartículas en el prototipo modelo, obteniendo los siguientes resultados:



**Ilustración 4-22:** Análisis microbiológico de muestras de agua

Realizado por: Sánchez F., 2024

**Tabla 4-29:** Análisis microbiológico de coliformes totales y fecales en agua sin tratamiento

Muestra	Coliformes totales y fecales UFC/mL
Agua sin tratamiento	260 UFC / 100 ml

Realizado por: Sánchez F., 2024

Como se indica en la tabla 4-30, al realizar el análisis de coliformes totales y fecales en una muestra de agua sin tratamiento, se obtuvo un valor de 260 UFC/ml, siendo un indicativo que el agua del río Chibunga se encuentra contaminada.

De acuerdo a la “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua”, si la muestra de agua presenta hasta 20000 NMP/100ml de coliformes totales, requiere tratamiento convencional para que pueda ser apta para consumo humano y doméstico (Ministerio del Ambiente 2015). Según la Norma Técnica Sanitaria 1108: agua potable, requisitos, indica que el agua destinada a consumo humano, el límite de calidad de coliformes totales es de 1,1 NMP/100 ml (NTE INEN 2014, p. 4).

Un estudio sobre “Calidad microbiológica del agua del río Mero”, determinó que, determinó una concentración de 1100 NMP/100 ml indicando que existe un alto grado de contaminación fecal en este recurso hídrico, por lo que es importante llevar a cabo medidas de tratamiento ambiental (Vásquez 2020, p.5).

**Tabla 4-30:** Análisis de coliformes totales y fecales en agua tratada con nanopartículas

Nanopartículas	Primera concentración (UFC/100ml)	Segunda concentración (UFC/100ml)	Tercera concentración (UFC/100ml)
Óxido de cobre	0	3	5
Hierro	0	0	0
Plata	10	7	8
Óxido de bismuto	0	0	11

Realizado por: Sánchez F., 2024

En la tabla 4-31, se presentan los resultados del análisis microbiológico de las muestras de agua tratadas con nanopartículas, determinando que, el valor de coliformes totales y fecales va a depender del tamaño de la nanopartícula, es decir, a menor tamaño mayor actividad antimicrobiana.

La mejor actividad microbiana se observó en las nanopartículas de óxido de cobre, hierro y óxido de bismuto a una concentración de 0,05 mol/L, mientras que, en el caso de las nanopartículas de

plata, la concentración fue mayor.

Se considera que los óxidos metálicos que forman nanopartículas (como el óxido de cobre y óxido de bismuto), son ideales para poder interactuar con bacterias patógenas, principalmente aquellas que tienen una alta resistencia contra la acción de diversos antibióticos (poder bactericida), sin embargo, su acción depende de factores como su composición química, tamaño y forma (Rosero 2021, p. 827).

## CONCLUSIONES

- Se realizó la síntesis verde de nanopartículas de plata con extracto acuoso de uvilla que obtuvo un rendimiento de 0,678 gramos, las nanopartículas de óxido de cobre se elaboraron con extracto de eucalipto, logrando un rendimiento de 0,267 gramos, nanopartículas de hierro con extracto de matico y un rendimiento de 0,165 gramos y para las nanopartículas de óxido de bismuto se empleó un extracto de menta con un rendimiento de 0,22 gramos.
- Una vez obtenidas las nanopartículas por síntesis verde se realizó caracterización por espectroscopia ultravioleta visible (UV-VIS) para determinar la mayor longitud de onda, la espectroscopia de infrarrojo (FT-IR) permitió determinar los mayores picos de absorción y la microscopia electrónica de barrido (SEM) fue la técnica empleada para analizar la forma y tamaño de las diferentes nanopartículas.
- Se aplicó las nanopartículas en un prototipo modelo para el tratamiento de aguas de río, determinando que, las nanopartículas de óxido de bismuto con la primera concentración (0,05 mol/L) se ajustaron en mayor medida a los requerimientos fisicoquímicos del TULSMA. Las combinaciones idóneas fueron las nanopartículas de óxido de bismuto + hierro y óxido de bismuto + hierro + óxido de cobre y en cuanto al análisis microbiológico se determinó que la primera concentración tenía efecto bactericida contra coliformes totales y fecales (0 UFC).

## **RECOMENDACIONES**

- Para la síntesis de nanopartículas mediante síntesis verde es importante tener en consideración parámetros como pH, temperatura, concentración del extracto y la sal precursora, para obtener un mayor rendimiento de las nanopartículas.
- Para evaluar el poder bactericida de las nanopartículas es importante realizar un análisis microbiológico completo, para determinar su eficacia en la inhibición del crecimiento de las bacterias patógenas.
- Es importante realizar nuevos estudios mediante el uso de otros extractos vegetales con el fin de determinar la actividad bactericida de las nanopartículas elaboradas.
- Para garantizar la precisión de los resultados, se debe analizar las muestras de agua, tanto tratadas como no tratadas, en un laboratorio dentro de las 48 horas posteriores a su obtención. Esto asegura la conservación de los microorganismos en el agua y una evaluación fiable del impacto de las nanopartículas en la desinfección.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **ACSA.** "Nanotecnología. Interés en la industria y su regulación" Generalitat de Catalunya [en línea] 2023 (España), pp: 1-6. [Consulta 01 octubre 2023] Disponible en: [https://acsa.gencat.cat/web/.content/50\\_Actualitat/Butlletins/acsaBrief/2023/37-nanotecnologia/NANOTEKNOLOGIA-CAST.pdf](https://acsa.gencat.cat/web/.content/50_Actualitat/Butlletins/acsaBrief/2023/37-nanotecnologia/NANOTEKNOLOGIA-CAST.pdf)
2. **ÁLVAREZ, D.** Evaluación de la factibilidad del uso de nanopartículas de óxido de bismuto como bactericida en muestras de aguas servidas en la comunidad san vicente de lacas, provincia de Chimborazo. [en línea] (Trabajo de Titulación). ESPOCH. 2021, p.10. [Consulta 21 octubre 2023] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15333/1/236T0568.pdf>
3. **ÁLVAREZ, J et al.** "Nanotecnología". Revista Oficial de la Asociación Colombiana para el Estudio del Dolor [en línea] 2019 (España), pp: 76-92. [Consulta 01 octubre 2023] Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/51540/REVISTA%204-1-77-93.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
4. **ARMIJO, R. y BASEGIO, N.** "Contaminantes Químicos del Agua: Contaminación Antropogénica". Universidad Pablo de Olavide [en línea] 2019 (España), pp: 1-9. [Consulta 01 octubre 2023] Disponible en: <https://www.upo.es/cms1/export/sites/upo/moleqla/documentos/Numero35/Destacado-3.pdf>
5. **ARROJO, P.** "Crisis global del agua: valores y derechos en juego" Universidad de Zaragoza. [en línea] 2021 (España), pp: 1-22. [Consulta 01 octubre 2023] Disponible en: [https://www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua/images/documents/Patrimonio/Crisis\\_global\\_del\\_agua.pdf](https://www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua/images/documents/Patrimonio/Crisis_global_del_agua.pdf)
6. **BORJA, J et al.** "Los nanomateriales y sus aplicaciones en la remediación ambiental" Polo del conocimiento [en línea] 2020 (Ecuador), pp: 339-340. [Consulta 01 octubre 2023] Disponible en: <file:///C:/Users/alejo/Downloads/Dialnet->

7. **CAMPOBLANCO, H.** "Importancia de los ríos en el entorno ambiental". Universidad Nacional Mayor de San Marcos [en línea] 2020 (Perú), p. 57. [Consulta 01 octubre 2023] Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/2539/2229>
8. **CARBAJAL, A.** "Propiedades y funciones biológicas del agua". Universidad Complutense de Madrid [en línea] 2012 (España), p. 63. [Consulta 01 octubre 2023] Disponible en: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2013-07-24-Carbaljal-Gonzalez-2012-ISBN-978-84-00-09572-7.pdf>
9. **CASTAÑEDA, M.** "Síntesis y Caracterización de Nanopartículas de Bismuto y Óxido de Bismuto". [en línea] 2015 (México), p. 15. [Consulta 12 octubre 2023] Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/109401/tesis%20MFC-maestria-repositorio.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
10. **CHÁVEZ, G.** "Nanotecnología una alternativa para el tratamiento de aguas residuales: Avances, Ventajas y Desventajas". Journal of the Selva Andina Research Society. [en línea] 2018 (Bolivia), pp: 52-61. [Consulta 12 octubre 2023] Disponible en: [http://www.scielo.org.bo/pdf/jsars/v9n1/v9n1\\_a05.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/jsars/v9n1/v9n1_a05.pdf)
11. **CUARÁN, E.** Nanopartículas de óxido de cobre: síntesis, caracterización y estudio preliminar de su capacidad de remoción de azul de metileno en solución acuosa. [en línea] (Trabajo de Titulación). Centro de Investigación en Química Aplicada. 2012, p.20. [Consulta 21 octubre 2023] Disponible en: <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/166/1/Pamela%20Yajaira%20Reyes%20Rodriguez%20maestria.pdf>
12. **DADA, A et al.** "Synthesis and characterization of iron nanoparticles and its ash rice husk supported nanocomposite". Research gate. [en línea] 2014 (Nigeria), p: 138-149. [Consulta 12 octubre 2023] Disponible en: <file:///C:/Users/alejo/Downloads/Nanocon314-17Dada->

13. **DELGADILLO, R.** Actividad bactericida, antifúngica y antiviral de nanopartículas de bismuto contra patógenos orales. [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Autónoma de Nuevo León. 2015, p.12. [Consulta 21 octubre 2023] Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/9170/1/1080215050.pdf>
14. **DOMINGO, C.** "Espectroscopía IR sobre nanosuperficies". CSIC Research [en línea] 2004 (Nigeria), pp: 6-10. [Consulta 12 octubre 2023] Disponible en: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/4210/1/92.pdf>
15. **ESCOBAR, J.** "Recursos Naturales e Infraestructura - La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar". [en línea] 2002 (Chile), pp: 50-55. [Consulta 12 octubre 2023] Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/db3b12df-ae24-4302-97ca-94db2b0d738c/content>
16. **FAJARDO, G. et al.** *Bacteriología*. [blog] Cuba, 2013. [Consulta 10 octubre 2023] Disponible en: <http://uvsfajardo.sld.cu/tema-2-bacterologia>
17. **FERNÁNDEZ, D et al.** "Servicios de agua potable y saneamiento en Panamá". CEPAL [en línea] 2023 (Chile), p. 5. [Consulta 12 octubre 2023] Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/e7a8d93d-ad2d-4f9c-b563-c73d65869481/content>
18. **FERRO, J.** Síntesis verde de nanopartículas de hierro cero valente para la remoción de cadmio, cromo y arsénico en solución. [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad de los Andes. 2020, p.15. [Consulta 21 octubre 2023] Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/6dee3d9b-a9a5-44e3-a9dc-b229149e94b2/content>
19. **FISCHER, G et al.** "Importancia y cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.)". *Revista Brasileira de Fruticultura*. [en línea] 2014 (Brasil), pp: 1-15. [Consulta 12 octubre 2023]

Disponible en: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/q3DkbGPRBMcZq3DGS5fC5vH/>

20. **GALINDO, A.** "Catálogo oficial de medios de cultivo". COFEPRIS [en línea] 2022 (México), pp: 1-4. [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/791017/Cat\\_logo\\_oficial\\_de\\_medios\\_de\\_cultivo.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/791017/Cat_logo_oficial_de_medios_de_cultivo.pdf)
21. **GARCÉS, A.** "La microbiología y su objetivo". Universidad Central de Venezuela [en línea] 2021 (Venezuela), pp: 1-18. [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: [http://www.ucv.ve/fileadmin/user\\_upload/facultad\\_farmacia/catedraMicro/08\\_Tema\\_1\\_objetivo\\_micro\\_e\\_historia.pdf](http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_farmacia/catedraMicro/08_Tema_1_objetivo_micro_e_historia.pdf)
22. **GELOVER, S.** "Nanotecnología, una alternativa para mejorar la calidad del agua". Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología. [en línea] 2020 (México), pp: 40-52. [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/mn/v8n14/2448-5691-mn-8-14-40.pdf>
23. **GIL, M et al.** "Emerging contaminants in waters: effects and possible treatments Contaminantes emergentes em águas, efeitos e possíveis tratamentos". Dialnet [en línea] 2012 (México), pp: 52-73. [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4333973>
24. **GÓMEZ, M.** "Nanomateriales, nanopartículas y síntesis verde". Revista Repertorio de Medicina y Cirugía". [en línea] 2018 (Colombia), pp: 75-77. [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: <https://revistas.fucsalud.edu.co/index.php/repertorio/article/view/191/173>
25. **GUADARRAMA, R et al.** "Contaminación de agua". ECORFAN ® Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales. [en línea] 2016 (España), pp: 1-10. [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: [https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias\\_Ambientales\\_y\\_Recursos\\_Naturales/vol2num5/Revista\\_de\\_Ciencias\\_Ambientales\\_y\\_Recursos\\_Naturales\\_V2\\_N5\\_1.pdf](https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales/vol2num5/Revista_de_Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales_V2_N5_1.pdf)

26. **GUZMÁN, A.** "Análisis de los espectros de infrarrojo". CONAHCYT [en línea] 2016 (México), pp: 66-68. [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/743/1/Cap%206%20Analisis%20de%20los%20espectros%20de%20infrarrojo.pdf>
  
27. **HARRIS, D.** "Determinación De Calcio Y Magnesio En Aguas Por Complexometria". Universidad Pablo de Olavide [en línea] 2004 (España), pp: 1-5. [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: [https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/TAQ/curso0405/TAQP2\\_0405.pdf](https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/TAQ/curso0405/TAQP2_0405.pdf)
  
28. **HERNÁNDEZ, M.** "Actividad antibacteriana del extracto de *Mentha arvensis* L. (menta japonesa), frente a cepas productoras de piodermatitis". ECIMED. [en línea] 2020 (Cuba), pp: 1-6. [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubplamed/cpm-2020/cpm204b.pdf>
  
29. **LEDEZMA, A et al.** "Síntesis biomimética de nanopartículas de plata utilizando extracto acuoso de nopal (*Opuntia* sp.) y su electrohilado polimérico". Scielo. [en línea] 2014 (México), pp: 133-140. [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/sv/v27n4/1665-3521-sv-27-04-00133.pdf>
  
30. **LEYVA, G.** "Nanoparticulas de plata: tecnologia para su obtencion, caracterizacion y actividad biologica". Medugraphic. [en línea] 2013 (México), p. 22. [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/invdiss/ir-2013/ir131c.pdf>
  
31. **LOCK, O.** "Química y farmacología del *Piper aduncum* (matico)". *Revista de Química*, [en línea] 2004 (México), p. 27. [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: [file:///C:/Users/alejo/Downloads/18713-Texto%20del%20art%C3%ADculo-74174-1-10-20170614%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/alejo/Downloads/18713-Texto%20del%20art%C3%ADculo-74174-1-10-20170614%20(3).pdf)
  
32. **LÓPEZ, A.** Síntesis verde de nanopartículas de oro y plata. [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad de Sonora. 2021, p.17. [Consulta 21 octubre 2023] Disponible en: <http://repositorioinstitucional.unison.mx/bitstream/20.500.12984/6873/1/lopezmillanalej>

andrad.pdf

33. **LOPEZ, M.** Caracterización nanopartículas por método de microscopia electrónica de barrido y espectroscopia de energía dispersiva de rayos X. [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Politécnica Salesiana. 2022, p.11. [Consulta 21 octubre 2023] Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22681/1/UPS-GT003769.pdf>
  
34. **MÁRQUEZ, E et al.** "Las Nanopartículas Y Sus Aplicaciones Biomédicas". [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad de Extremadura. 2021, p.11. [Consulta 21 octubre 2023] Disponible en: <https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/11784/1/978-84-09-25218-3.pdf>
  
35. **MARTÍ, P.** Obtención de Nanopartículas de Cobre a partir de extracto de raspado de Uva. [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad de Extremadura. 2018, pp: 1-70 [Consulta 21 octubre 2023] Disponible en: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/169034/TFG\\_Marti%cc%81\\_Delgado\\_Paula.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/169034/TFG_Marti%cc%81_Delgado_Paula.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
  
36. **MATOS, J.** "Nanopartículas de TiO<sub>2</sub> y carbón activado para el tratamiento fotocatalítico de aguas contaminadas". Scielo. Revista mundo nano [en línea] 2009 (Francia), p. 37. [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/mn/v2n1/2448-5691-mn-2-01-37.pdf>
  
37. **MELÉNDEZ, L.** "Antioxidantes naturales y su poder reductor frente a iones plata: alternativa en la recuperación de metales". CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias. [en línea] 2020 (México), pp: 1-22. [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: [file:///C:/Users/alejo/Downloads/95-Texto%20del%20art%C3%83\\_culo-841-2-10-20200320%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/alejo/Downloads/95-Texto%20del%20art%C3%83_culo-841-2-10-20200320%20(1).pdf)
  
38. **MENDOZA, G. y RODRÍGUEZ, J.** "La nanociencia y la nanotecnología: una revolución en curso". Redalyc. Perfiles Latinoamericanos. [en línea] 2007 (México), pp: 161-163. [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/115/11502906.pdf>

39. **MINISTERIO DEL AMBIENTE.** "Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente. Registro Oficial No. 387". LEXIS [en línea] 2015 (Ecuador), pp: 1-40. [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>
40. **MOLINA, J.** "Conservación y uso sostenible del servicio ecosistémico agua" MEIC. [en línea] 2014 (Costa Rica), pp: 4-57. [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: <https://aya.go.cr/interactivo/materialDocentes/El%20Agua.pdf>
41. **MONTERO, M et al.** "Antimicrobial efficacy of eucalyptus essential oil (*Eucalyptus* spp) on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* subsp. *Aureus* strains". Scielo. Revista de Investigaciones Veterinarias del Peru. [en línea] 2014 (Perú), pp: 932-938. [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: <https://scielo.org.pe/pdf/rivep/v30n2/a42v30n2.pdf>
42. **MORENO, C et al.** "Green synthesis of silver nanoparticles as a bactericidal agent for domestic wastewater treatment". Dialnet. Revista científica dominio de las ciencias. [en línea] 2014 (Ecuador), pp: 1332-1335. [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: [file:///C:/Users/alejo/Downloads/Dialnet-SintesisVerdeDeNanoparticulasDePlataComoAgenteBact-8635182%20\(6\).pdf](file:///C:/Users/alejo/Downloads/Dialnet-SintesisVerdeDeNanoparticulasDePlataComoAgenteBact-8635182%20(6).pdf)
43. **MORENO, J.** "Síntesis verde de nanopartículas de plata para aplicaciones como fungicida en los fitopatógenos *fusarium solani* y/o *rhizopus stolonifer* que atacan la planta de aguacate". [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Nacional de Colombia. 2021, pp: 1-10 [Consulta 21 octubre 2023] <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81566>
44. **MURGUEITIO, E.** Síntesis , caracterización y aplicación de nanopartículas de hierro , en la remoción de HTPs en suelos y aguas de la provincia de Francisco de Orellana [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Nacional Mayor de Sn Marcos. 2018, pp: 1-10 [Consulta 21 octubre 2023] Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/9021>

45. **NEIRA, I.** Síntesis verde de nanopartículas para la eliminación de colorantes en medios acuosos. [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidade da Coruña. 2015, pp: 12-20 [Consulta 21 octubre 2023] Disponible en: [https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/14826/NeiraGarcia\\_Iago\\_TFG\\_2015.pdf](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/14826/NeiraGarcia_Iago_TFG_2015.pdf)
46. **NTE INEN.** NTE INEN 1108. Guías para la calidad del agua potable. [en línea] 2014 (Ecuador), pp: 1-10 [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: <https://www.insistec.ec/images/insistec/02-cliente/07-descargas/NTE%20INEN%201108%20-%20AGUA%20POTABLE.%20REQUISITOS.pdf>
47. **OMS.** *Agua para consumo humano.* [blog] Ginebra, 2023. [Consulta 10 octubre 2023] Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
48. **OSORIO, M.** Síntesis y caracterización de nanotubos monocapa, nanotubos multicapa y nanopartículas de óxido de bismuto obtenidas mediante irradiación de microondas. [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Autónoma de Nuevo León. 2021, pp: 62-65 [Consulta 21 octubre 2023] Disponible en: <https://cd.dgb.uanl.mx/bitstream/handle/201504211/16231/19900.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
49. **OUAHID, A.** Nanotecnología y sus potenciales aplicaciones en nanotecnología. [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad de Sevilla. 2020, pp: 10-18 [Consulta 21 octubre 2023] Disponible en: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/49173/TFG-V7%20%281%29ouahid%20hessissen%2C%20Amin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
50. **PALOMARES, E.** Síntesis verde de compuesto de nanopartículas de hierro-cobre. [en línea] (Trabajo de Titulación). Tecnológico Nacional de México. 2022, pp: 79-85 [Consulta 21 octubre 2023] Disponible en: <https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/4921/1/S%C3%8DNTESIS%20VERDE%20DE%20COMPUESTO%20DE%20NANO%20PART%C3%8DCULAS%20DE%20HIERRO-COBRE.pdf>

51. **PARDO, L. y ARIAS, J.** "Elaboración de nanopartículas de plata sintetizadas a partir de extracto de hojas de romero (*rosmarinus officinalis* l.) y su uso como conservante". *La Granja: revista de ciencias de la vida* [en línea] 2022 (Ecuador), pp: 45-47 [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: [file:///C:/Users/alejo/Downloads/4101-Texto%20del%20art%C3%ADculo-38897-1-10-20220225%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/alejo/Downloads/4101-Texto%20del%20art%C3%ADculo-38897-1-10-20220225%20(1).pdf)
52. **PEREZ, H. y ROBLES, A.** "Aspectos básicos de los mecanismos de resistencia bacteriana". *Revista Médica MD* [en línea] 2013 (México), pp: 187-191 [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/revmed/md-2013/md133i.pdf>
53. **PÉREZ, L. y VILLALVA, M.** Síntesis y caracterización de las nanopartículas de hierro con extracto de hojas del *Eucalyptus globulus* sp. [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Nacional del Centro de Perú. 2021, pp: 12-21 [Consulta 21 octubre 2023] Disponible en: [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7922/T010\\_70557148\\_T.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7922/T010_70557148_T.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
54. **PÉREZ, X et al.** "Caracterización de nanopartículas de plata sintetizadas por vía verde". *UAEH*. [en línea] 2021 (México), pp: 16-19 [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icap/article/view/6717/7838>
55. **PUENTE, M.** Acción microbicida de agua de plata en muestras de riego del río Pachanlica. [en línea] (Trabajo de Titulación). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. 2015, p. 47 [Consulta 21 octubre 2023] Disponible en: <https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/6bbcf8e3-1d3f-4bb5-a01c-6ea95932cd88/content>
56. **PUMACOTA, N.** "Evaluación de los parámetros Físico-químicos fundamentales para la obtención de nanopartículas de óxido de cobre utilizando *Physalis peruviana* (Aguaymanto), vía química verde". [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Nacional de San Agustín 2018, p. 53 [Consulta 21 octubre 2023] Disponible en: <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c31a893e-3dd2-4976-848b-c131fec578dd/content>

57. **REYES, P.** Síntesis y caracterización de nanopartículas de cobre y óxido de cobre y su incorporación en una matriz polimérica y el estudio de sus propiedades anti bacterianas. [en línea] (Trabajo de Titulación). Centro de Investigación en Química Aplicada, 2012, p. 85 [Consulta 21 octubre 2023] Disponible en: <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/166/1/Pamela%20Yajaira%20Reyes%20Rodriguez%20maestria.pdf>
58. **RÍOS, S et al.** "Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano". Revista Facultad Nacional de Salud Pública. [en línea] 2017 (Colombia), pp: 239-241 [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v35n2/0120-386X-rfnsp-35-02-00236.pdf>
59. **ROSERO, C.** "Potencial Bactericida De Nanoparticulas De Oxido y dióxido de titanio". Revisrta científica dominio de ciencias [en línea] 2021 (Colombia), pp: 822-836 [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: <https://www.dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/2026/4182>
60. **SAN MIGUEL, M.** Síntesis y caracterización de nanopartículas luminiscentes. [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad de Cantabria, 2022, p. 45 [Consulta 27 octubre 2023] Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/8967/386304.pdf?sequence=1>
61. **SEMARNAT.** "Agua. Informe de la situación del medio ambiente en México". SEMARNAT. [en línea] 2020 (México), pp: 364-366 [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Cap6\\_Agua.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Cap6_Agua.pdf)
62. **TORRES, A et al.** La Alcalinidad del Agua y su Efecto en los Sustratos Introducción. Emacsa, [blog], 2023. [Consulta 10 octubre 2023] Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/la-alcalinidad-del-agua-y-su-efecto-en-los-sustratos#:~:text=Una%20alta%20alcalinidad%20del%20agua%2C%20es%20claramente%20m%C3%A1s%20probable%20que,tambi%C3%A9n%20puede%20ser%20un%20>

factor.

63. **UNIVERSIDAD PABLO DE OLAVIDE.** "Determinación De Fosfatos." *UPO. Técnicas avanzadas en química.* [en línea] 2003 (México), pp: 1-8 [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: <https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/TAQ/curso0304/guiones0304.pdf>
64. **VERA, F.** Síntesis y caracterización de nanopartículas de hierro. [en línea] (Trabajo de Titulación). ESPOCH, 2020, p. 51 [Consulta 27 octubre 2023] Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/8971/1/86T00067.pdf>
65. **YANCHAPANTA, E.** Síntesis y caracterización de nanopartículas de plata como agente bactericida en aguas residuales. [en línea] (Trabajo de Titulación). ESPOCH, 2022, p. 32 [Consulta 27 octubre 2023] Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/17569/1/156T0049.pdf>
66. **ZAMBRANO, J et al.** "Contaminantes biológicos presentes en fuentes de agua del centro-sur de la provincia de Manabí, Ecuador". *Revista Siembra.* [en línea] 2022 (Ecuador), pp: 2-15 [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/4011/5001>
67. **ZAMORA, C. y TORO, C.** "Actividad antibiótica del *Eucalyptus globulus* frente a bacterias Gram positivas: un artículo de revisión". *Revista médica vallejana, medical journal.* [en línea] 2021 (Perú), pp: 94-100 [Consulta 24 octubre 2023] Disponible en: <https://revistas.ucv.edu.pe/index.php/revistamedicavallejana/article/view/269/259>

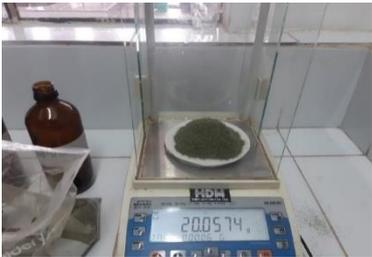


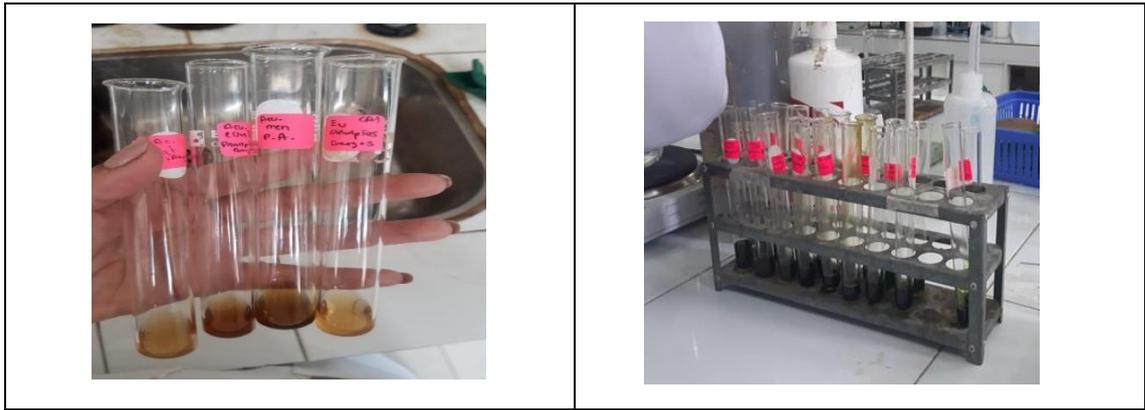
## ANEXOS

### ANEXO A: OBTENCIÓN DE EXTRACTOS ACUOSOS

SONICADOR	FILTRACIÓN AL VACÍO
	
OBTENCIÓN DE EXTRACTOS	CONSERVACIÓN DE LOS EXTRACTOS
	

### ANEXO B: ANÁLISIS TAMIZAJE FITOQUÍMICO

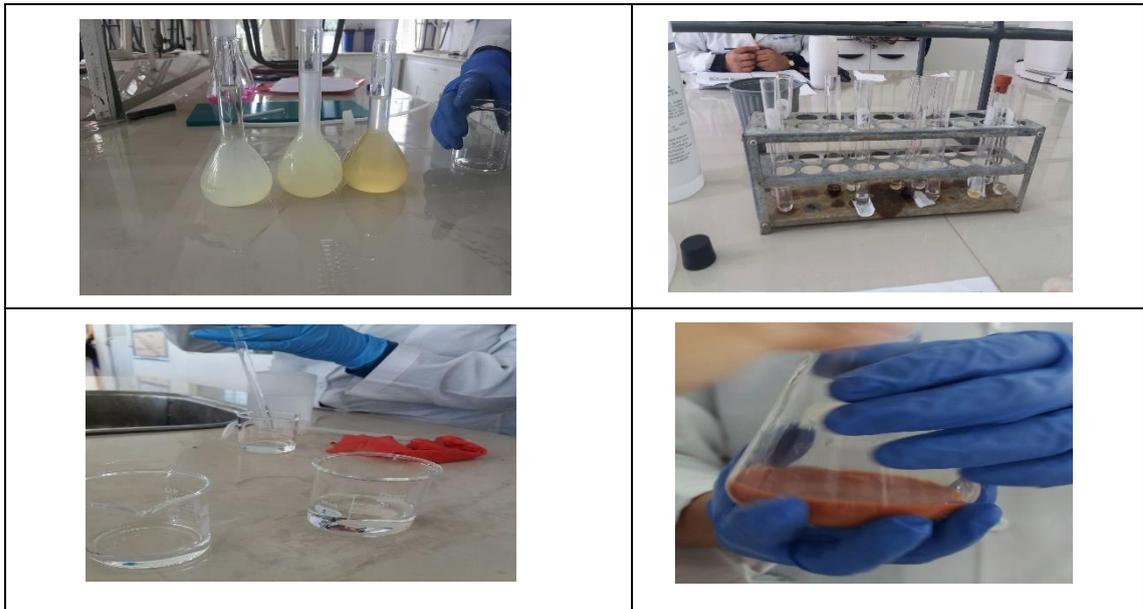
ESPECIE VEGETAL PESADA	ENSAYOS
	
	



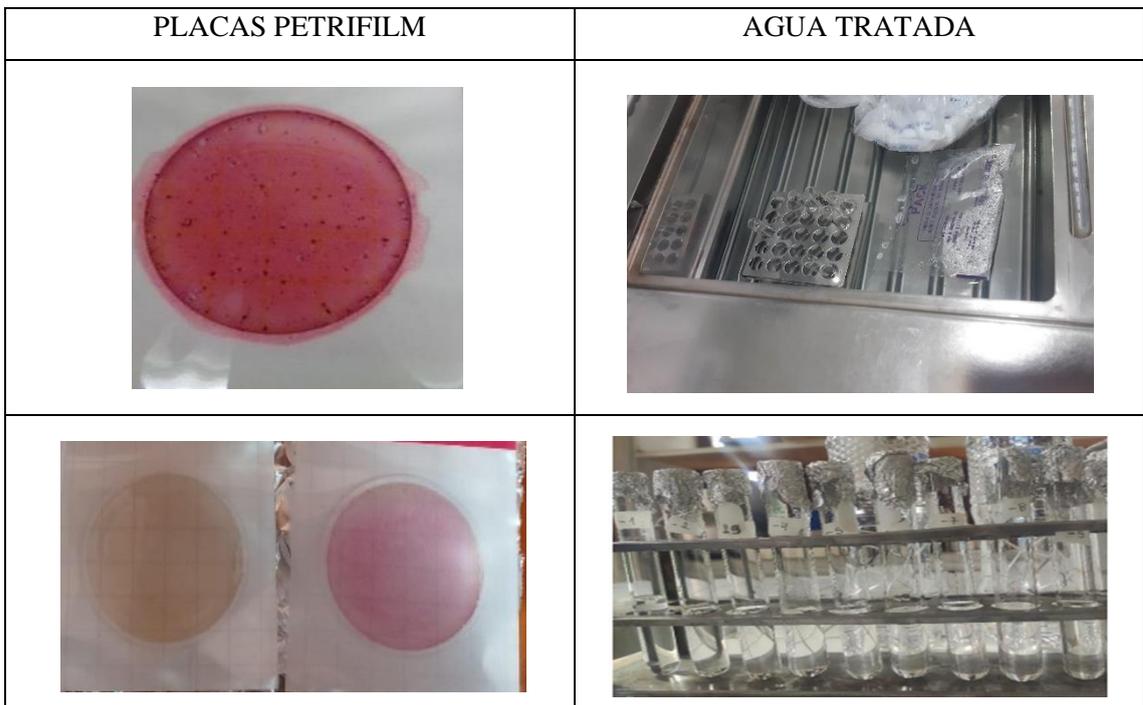
**ANEXO C: RECOLECCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS DEL PROTOTIPO**

<p>COLOCACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO EN LOS CARTUCHOS</p>	<p>AJUSTE DE LOS CARTUCHOS EN EL PROTOTIPO</p>
	
<p>CARTUCHOS DE RESINA DEL PROTOTIPO</p>	<p>FIJACIÓN DE LOS CARTUCHOS</p>
	
<p>OBTENCIÓN DEL AGUA</p>	<p>PREPARACIÓN DE LOS CARTUCHOS</p>
	

## ANEXO D: ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA



## ANEXO E: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA NORMALIZACIÓN**  
**DE TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**Fecha de entrega:** 25/06/2024

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> FERNANDA KATHERINE SÁNCHEZ MARTÍNEZ
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> CIENCIAS
<b>Carrera:</b> BIOQUÍMICA Y FARMACIA
<b>Título a optar:</b> BIOQUÍMICA FARMACÉUTICA
 BQ. Cl. Mishell Carolina Moreno Samaniego, MSc. <b>Directora del Trabajo de Integración Curricular</b>
 Ing. Hugo Javier Sánchez Moreno, MSc. <b>Asesor del Trabajo de Integración Curricular</b>